

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli

**The influence of process fluids from the best manufacturers in the world
tool life and surface roughness in drilling stainless steel**

KOM 1221

Milan Karásek

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey POPOV, DrSc. – TUL

Konzultant: Ing. Andrey Dugin – TUL

Počet stran: 85

Počet tabulek: 11

Počet obrázků: 32

Počet grafů: 7

17.5.2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení:

Milan KARÁSEK

Studijní program:

N2301

Strojní inženýrství

Obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Zaměření:

Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce doporučené metody pro vypracování)

1. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při třískovém obrábění.
2. Shrnutí poznatků o trvanlivosti nástroje při třískovém obrábění, délkové charakteristiky otupení břitu obráběcího nástroje, Taylorův vztah.
3. Definice pojmu integrita povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
4. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při vrtání nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL.
5. Zjištění vlivu procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje při vrtání nerezové oceli.
6. Zjištění vlivu procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli
7. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: 50 - 60 stran textu
- grafické práce: obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. MADL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
2. JERSÁK, J., REJZEK, M. Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Vasilko, prof. Holešovský. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 17 - 23. ISSN 1211-4162.
3. STRYAL, J., JERSÁK, J. Vliv procesního média na vlastnosti čelně frézovaných strojních součástí. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Lukovics, doc. Mrkvica. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 39 - 44. ISSN 1211-4162.
4. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástroje*. 2005. 601 s.
5. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Miroslav Ledvina

L.S.

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

vedoucí katedry

děkan

V Liberci, dne 27.02.2013.

**Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na
trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli**

ANOTACE:

Diplomová práce obsahuje informace o procesních kapalinách, drsnosti povrchu, trvanlivosti a opotřebení bříty nástroje. Tato práce se zabývá vlivem jednotlivých procesních kapalin při vrtání nerezové oceli. Výsledky vlivu procesních kapalin jsou hodnoceny z hlediska trvanlivosti bříty a drsnosti povrchu.

Klíčová slova: PROCESNÍ KAPALINY, TRVANLIVOST NÁSTROJE, DRSNOST
POVRCHU, VRTÁNÍ

**The influence of process fluids from the best manufacturers in the world
tool life and surface roughness in drilling stainless steel**

ANNOTATION:

This Thesis includes information on process fluids, surface roughness, durability and cutting tool wear. This work deals with the individual influence of process fluids when drilling stainless steel. The results of the influence of process fluids are evaluated in terms of tool life and surface roughness.

Keywords: PROCESS FLUID, TOOL LIFE, SURFACE ROUGHNESS,
DRILLING

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	85
Počet tabulek:	11
Počet obrázků:	32
Počet grafů:	7

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 17. května 2013

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, důležité rady a konzultace při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantovi diplomové práce panu Ing. Andrey Duginovi za poskytnutou pomoc a věcné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za pomoc při řešení vyskytlých problémů.

Také bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia vysoké školy.

Milan Karásek

Obsah:

1 KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ	11
1.1 VÝZNAM A FUNKCE PROCESNÍCH KAPALIN	11
1.2 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ.....	11
1.3 ÚČINKY PROCESNÍCH KAPALIN.....	12
1.3.1 Chladicí účinek.....	12
1.3.2 Mazací účinek.....	13
1.3.3 Čistící účinek.....	14
1.3.4 Provozní stálost	15
1.3.5 Ochranný účinek.....	15
1.3.6 Zdravotní nezávadnost.....	15
1.3.7 Přiměřené náklady	16
1.4 DRUHY PROCESNÍCH KAPALIN	17
1.4.1 Vodné roztoky	18
1.4.2 Emulzní kapaliny.....	18
1.4.3 Řezné oleje	19
1.4.3.1 Mastné látky	19
1.4.3.2 Organické sloučeniny	20
1.4.3.3 Pevná maziva.....	20
1.4.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny.....	20
1.5 METODY PŘÍVODU PROCESNÍ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU	21
1.5.1 Standardní chlazení.....	21
1.5.2 Tlakové chlazení.....	22
1.5.3 Podchlazování procesní kapaliny.....	23
1.5.4 Chlazení řeznou mlhou	23
1.5.5 Vnitřní chlazení	24
1.5.6 Ochlazování plynným prostředím	25
2 TRVANLIVOST NÁSTROJE	25
2.1 TRVANLIVOST BŘITU NÁSTROJE PŘI TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ	25
2.2 TAYLORŮV VZTAH.....	26
2.3 OTUPOVÁNÍ BŘITU OBRÁBĚCÍHO NÁSTROJE.....	29
2.3.1 Základní mechanismy opotřebení	29
2.3.1.1 Abrazivní opotřebení	30
2.3.1.2 Difuzní opotřebení	30
2.3.1.3 Adhezní opotřebení	31
2.3.1.4 Oxidační opotřebení	31
2.3.1.5 Lom	32
3 INTEGRITA POVRCHU	32
3.1 INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PŘI OBRÁBĚNÍ.....	32
3.2 SLOŽKY INTEGRITY POVRCHU	33
3.3 DRSNOST POVRCHU	33
3.3.1 Metody měření drsnosti povrchu	34
3.3.2 Parametry určující drsnost povrchu	35
3.3.2.1 Výškové parametry.....	35
3.3.2.2 Délkové (šířkové) parametry	38

3.3.2.3 Tvarové parametry.....	39
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	
DP40.....	40
5 POPIS POUŽITÝCH STROJŮ A PŘÍSTROJŮ.....	42
5.1 LABORATORNÍ PROFILOMĚR MITUTOYO SURFEST SV-2000 N2.....	42
5.2 RUČNÍ REFRAKTOMETR.....	43
5.3 NÁSTROJOVÁ LUPA BRINELL.....	43
5.4 MIKROSKOP ARSENAL SZP 3112-T.....	44
5.5 NÁSTROJOVÁ FRÉZKA FNG 32.....	44
5.6 PÁSOVÁ PILA PILOUS AGR 300 PLUS.....	46
5.7 ČERPAČÍ JEDNOTKA.....	47
6 NAVRŽENÍ METODIKY EXPERIMENTU.....	48
6.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	48
6.2 PŘÍPRAVA PROCESNÍ KAPALINY.....	49
6.3 POUŽITÉ PROCESNÍ KAPALINY.....	49
6.4 ŘEZNÉ PODMÍNKY.....	50
6.5 POSTUP PŘI OBRÁBĚNÍ.....	50
6.6 METODIKA ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE.....	51
6.7 METODIKA ZKOUMÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	51
7 ZJIŠTĚNÍ VLIVU PK OD NEJLEPŠÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ NA	
TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ NEREZOVÉ OCELI	53
7.1 URČENÍ TVARU ODEBRANÉ TRÍSKY.....	48
8 ZJIŠTĚNÍ VLIVU PK OD NEJLEPŠÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ NA	
DRSNOST POVRCHU PŘI VRTÁNÍ NEREZOVÉ OCELI.....	70
8.1 VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PARAMETR DRSNOSTI POVRCHU Ra.....	48
8.2 VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PARAMETR DRSNOSTI POVRCHU Rz.....	48
8.3 VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA NOSNÝ PODÍL PROFILU	48
9 ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ; VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ	75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	77
SEZNAM OBRÁZKŮ	80
SEZNAM TABULEK A GRAFU.....	82
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	83
SEZNAM PŘÍLOH	85

Úvod

Ve strojírenství je obrábění kovů jednou z nejdůležitějších technologií výroby součástí. Hlavní snahou při využití této technologie je dosažení co nejlepší rozměrové přesnosti, povrchu obráběné součásti a zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. Velkou roli v tomto problému hraje úprava řezných podmínek a správná volba řezného materiálu, ale také změna prostředí obráběcího procesu za použití procesní kapaliny.

Procesní kapaliny jsou pro technologii obrábění velmi důležitou složkou, a proto je tato moje diplomová práce na ně zaměřená, přičemž každá metoda obrábění má zcela jiné požadavky na vlastnosti procesní kapaliny. Dobře zvolenými procesními kapalinami můžeme kladně ovlivnit celý průběh řezného procesu a díky nim se zároveň velmi snížily ekonomické náklady ve výrobě, což je důsledkem zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. Samozřejmě se také zlepšil odvod tepla z místa řezu, snížilo tření, jakost obrobené plochy a mnoho dalších pozitivních vlivů.

V této diplomové práci je nejprve zpracována teoretická část, kde jsou shrnuty poznatky o procesních kapalinách, opotřebení a trvanlivosti břitů nástroje, a také integrita povrchu a její měření. Poté následuje experimentální část, ve které jsem zpočátku popsal využití stroje a nástroje, ovšem hlavním úkolem bylo navrhnout správnou metodu pro měření a analýzu procesních kapalin na trvanlivost břitů nástroje a drsnost při vrtání nerezové oceli.

Veškerá výzkumná práce vlivu procesních kapalin byla provedena v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. Po celou dobu experimentu se pracovalo s nerezovou ocelí ČSN 17 481 a vrtáky s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 o $\varnothing D = 8 \text{ mm}$.

Cílem diplomové práce je porovnat a odzkoušet dvanáct procesních kapalin od nejlepších světových výrobců, při vrtání do nerezové ocele. Tyto kapaliny byly hodnoceny ze dvou vlivů. Nejdříve z pozitivních vlivů na trvanlivost nástroje, tak i z hlediska vlivů na kvalitu obrobeného povrchu. Závěrem proběhne vyhodnocení a porovnání vlivů vybraných procesních kapalin na oba měřené parametry.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění

1.1 Význam a funkce procesních kapalin

Procesní kapaliny se staly nejpřínosnějším médiem, protože splňují základní požadavky na trvanlivost nástroje a jakost obrobeného povrchu.

Zejména mají procesní kapaliny velký vliv na chlazení a mazání obráběcí soustavy, ale zároveň jde o utváření a odplavování třísek, tvorbu nárůstku, řezné síly, velikost minimální tloušťky odřezávané vrstvy, zpevnění povrchové vrstvy obrobené plochy, energetickou spotřebu atd., čímž ovlivňují komplexně celý průběh, resp. výsledek obráběcího procesu. Z těchto zmiňovaných výhod zůstávají procesní kapaliny v popředí zájmu při obrábění.

1.2 Řezné prostředí

Prostředí v řezné zóně má významný vliv na kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejčastěji používaná řezná média jsou kapaliny, plyny a mlhy.¹

Volba řezného prostředí významně ovlivňuje výsledky řezného procesu, např. trvanlivost břitu nástroje, velikost sil při obrábění nebo teplotu řezání. Účinky různých prostředí na řezný proces mohou být za stejných podmínek obrábění zcela odlišné, což se týká funkčních vlastností obrobku. Jedná se především o drsnost obrobeného povrchu, zpevnění obrobené plochy a zbytková napětí v její povrchové vrstvě.²

Kromě klasicky využívaných metod chlazení řezného procesu jsou využívány v současné době i některé další technologie mazání a chlazení. Nejmodernější metodou je metoda MQL – Minimum Quantity Lubrication, což je technologie, při které dochází k mazání minimálním množstvím kapaliny. Další metodou je např. suché obrábění při ofuku místa řezu mraženým nebo chlazeným vzduchem.

1.3 Účinky procesních kapalin

Procesní kapaliny se obecně rozdělují do dvou hlavních skupin podle účinku na proces řezání, tj. kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem.

Z hlediska technologického a provozního je třeba uvést další požadavky na tyto kapaliny, k nimž patří zejména:

- chladící účinek
- mazací účinek
- čistící účinek
- provozní stálost
- ochranný účinek,
- zdravotní nezávadnost
- přiměřené náklady³

1.3.1 Chladící účinek

Chladícím účinkem se rozumí schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé prostředí, které smáčí povrch kovů a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a prostředím. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné prostředí obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla.¹

Chladící účinek řezného prostředí závisí na smáčecí schopnosti, na rychlosti vypařování, na výparném teple, na měrném teple a na tepelné vodivosti. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude vyšší chladící účinek řezného prostředí. Dalším faktorem zvětšující chladící účinek je průtokové množství řezného média.

Hlavní zdroje tepla při řezném procesu:

$$Q_e = Q_{pd} + Q_v + Q_a$$

Q_{pd}teplo vzniklé v oblasti plastických deformací při tvoření třísky

Q_yteplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje

Q_ateplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po obrobené ploše

Jednotlivé oblasti kam je odváděno teplo řezného procesu:

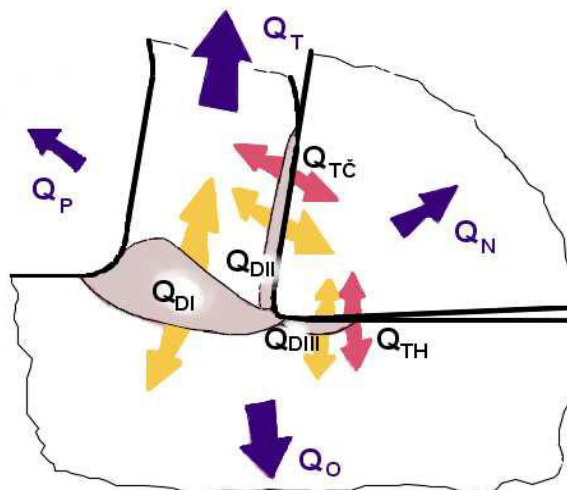
$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_p$$

Q_tteplo odvedené třískou

Q_oteplo odvedené obrobkem

Q_nteplo odvedené nástrojem

Q_pteplo odvedené řezným
prostředím



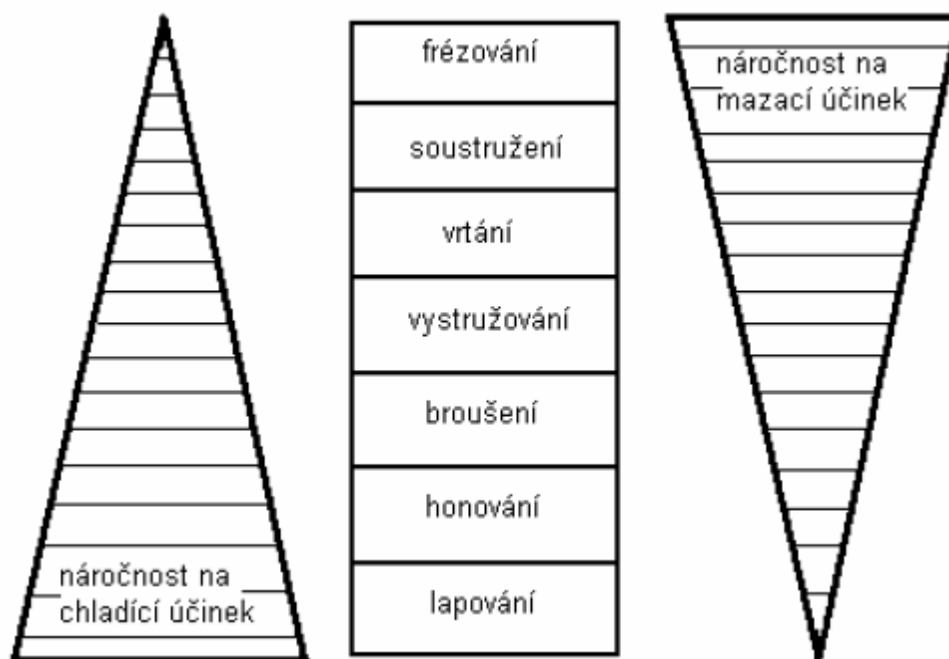
Obr.1 Tepelná bilance při obrábění ⁴

1.3.2 Mazací účinek

Mazací účinek je vyjádřen schopností prostředí vytvořit na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. ¹

Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné prostředí silnou afinitu ke kovu nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. ¹

Mazací schopnost procesní kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání. ¹



Obr.2 Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek ⁵

1.3.3 Čistící účinek

Čistící účinek procesní kapaliny znamená, že jeho přívod odstraňuje třísky z místa řezání a zlepšuje vlastnosti, např. vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Procesní kapalina má také za úkol bránit slepování částic, které vznikají při řezání a usnadňovat jejich usazování. ¹

Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní procesní kapaliny, to znamená na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší nečistoty se sice usadí v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání, kde mohou způsobit i zhoršení jakosti obráběného povrchu. ³

Velký význam má čistící účinek pro broušení a u těch operací, kdy procesní kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. ¹

1.3.4 Provozní stálost

Provozní stálost je možné hodnotit dobou výměny procesní kapaliny. Dlouhodobost výměny procesní kapaliny je podmíněna zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit.¹

Stárnutí procesní kapaliny olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností procesní kapaliny, její rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad.¹

Základní předpokladem provozní stálosti je stálost při uskladnění procesní kapaliny. Příznivě ovlivňují provozní stálost dostatečně velké nádrže, opatření proti pění, odstraňování nečistot vzniklých při provozu, odstraňování kalů a pravidelná výměna náplně v přiměřených lhůtách.⁶

1.3.5 Ochranný účinek

Ochranný účinek procesní kapaliny se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat a aby se také stroje chránily před korozí. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do procesní kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům.¹

Dalším požadavkem je to, aby procesní kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním.¹

1.3.6 Zdravotní nezávadnost

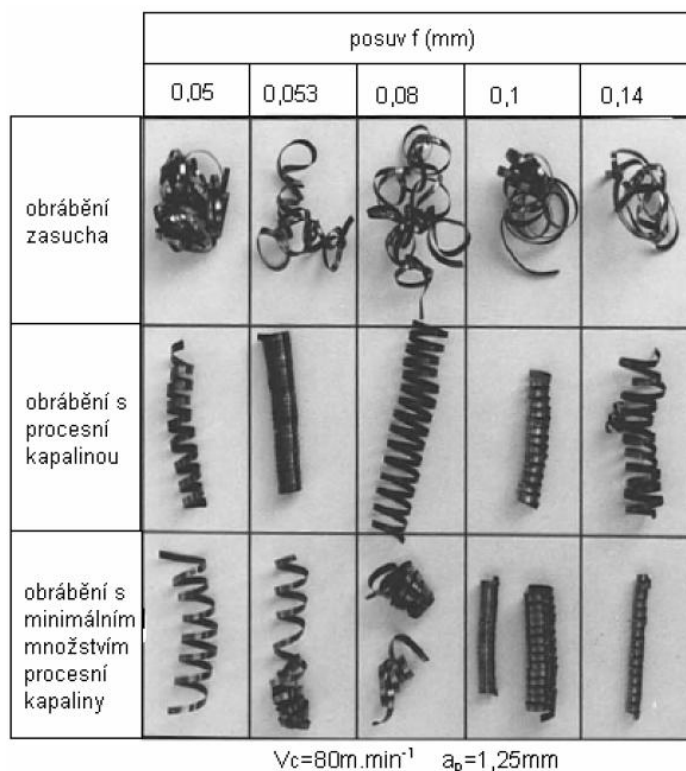
Požadavek na zdravotní nezávadnost procesní kapaliny vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích přichází obsluhující pracovník do styku s procesní kapalinou. Proto procesní kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku a nesmí být jedovatá. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.¹

Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na jeho provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod.¹

1.3.7 Přiměřené náklady

Přiměřené náklady souvisí především se spotřebou procesní kapaliny. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení procesní kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci procesní kapaliny.¹

Až podrobný technicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti určitého druhu kapaliny. Hodnocení podle cenových rozdílů je sice jednoduché, ale zcela nedostatečné, poněvadž procesní kapaliny ovlivňují parametry rozhodující o ekonomii obrábění často ve větším rozsahu, než je hodnota její ceny.¹



Obr.3 Vliv procesních kapalin na tvar třísky⁷

Procesní kapalina je jedním z prostředků, jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění. Při jejím výběru je ale nutné komplexně zvážit její působení na proces řezání, tj. na průběh plastických deformací v zóně řezání, na opotřebení nástroje a na změnu struktury povrchu obrobené plochy.¹

Základní chybou vyskytující se v provozu je navrhnutí jedné procesní kapaliny a tu považovat za vyhovující pro všechny operace. Řešení otázky výběru kapaliny je nutné případ od případu, dále také její způsob přívodu a koncentrace, a to vše, aby byly splněny požadavky hospodárnosti obrábění.

1.4 Druhy procesních kapalin

Procesní kapaliny je možné členit na kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a na kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Podle tohoto hlediska třídíme procesní kapaliny na:

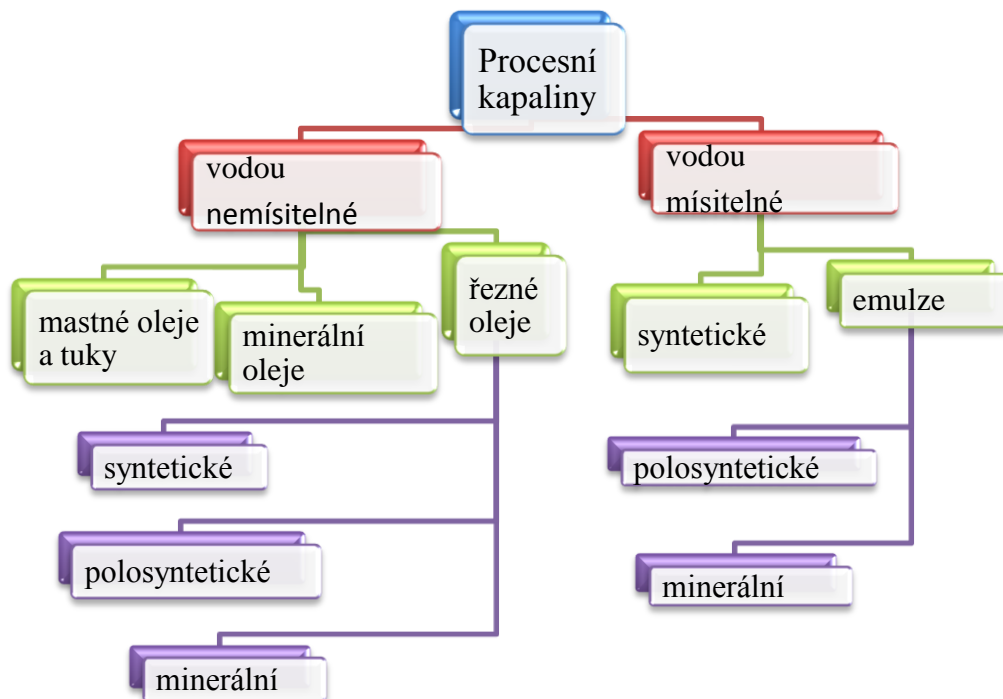
- chladicí kapaliny
- řezné oleje

Ovšem toto rozdělení přesně nevystihuje sortiment procesních kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u řezných kapalin s převažujícím chladícím účinkem. Moderní druhy procesních kapalin tento požadavek plní a tak je stírán rozdíl mezi oběma skupinami.¹

Podle jiných hledisek je tedy možno rozčlenit procesní kapaliny do následujících skupin:

- vodné roztoky
- emulzní kapaliny
- řezné oleje
- syntetické a polysyntetické kapaliny¹

Další možné rozčlenění procesních kapalin je zobrazeno na obr.4



Obr.4 Rozdělení procesních kapalin

1.4.1 Vodné roztoky

Vodné roztoky jsou nejjednodušší procesní kapaliny, ovšem nejsou příliš výhodné z hlediska aplikace. Voda jako jejich základ vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický.¹

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodné roztoky mají velmi dobré chladicí a čistící účinky.¹

1.4.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě.¹

Pro stabilizaci je třeba využít další složky, tzv. emulgátory, které brání shlukování jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Bez používání emulgátoru, by se za nějakou dobu vyloučil olej na hladinu kapaliny.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů, přičemž chladicí účinek emulzní kapaliny je závislý na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulze o hodnotě pH = 8 až 9 poskytuje již dostatečnou ochranu proti korozi slitin železa. V celkovém hodnocení emulzní kapaliny zahrnují asi 80 % všech používaných procesních kapalin. ¹

Pro přípravu emulzní kapaliny je třeba zachovat určitý postup:

- pro přípravu použít vhodně upravenou vodu
- koncentraci emulze volit podle druhu pracovní operace a podle množství ochranných látek, přičemž koncentrace se často pohybuje v rozmezí 2 až 10 %
- emulgační prostředek přidávat pozvolně za stálého míchání ³

1.4.3 Řezné oleje

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Přísady, které se používají, zvyšují tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. ¹

Mezi přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů zařazujeme:

- mastné látky
- organické sloučeniny
- pevná maziva

1.4.3.1 Mastné látky

Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků. ¹

1.4.3.2 Organické sloučeniny

Organické sloučeniny jsou sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Tyto všechny látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady, jelikož na povrchu vytvářejí vrstvičky kovových mýdel, které usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch a zabráňují kovovým svarům.

Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách nad 400°C, proto jsou sloučeniny s fosforem účinnější, ovšem úplně nejúčinnější se prokázala kombinace sloučenin síry, chlóru a fosforu.

1.4.3.3 Pevná maziva

Pevná maziva se používají jako přísady do řezných olejů a působí na povrch kovu mechanickým účinkem. Díky své afinitě ke kovu zde vytváří mezní vrstvu odolnou proti tlakům, čímž se také zlepšují mazací schopnosti oleje. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se udržovat v rozptýleném stavu, což může být velmi obtížné a neúměrně nákladné.⁸

1.4.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento typ kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většina se ve vodě rozpouští na bázi glykolů a mají dobré ochranné, chladicí a mazací účinky. Syntetické procesní kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel- glykolů, které jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího proces.

Používání syntetických kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, má dobré čistící vlastnosti a jednoduchou přípravu.

Rozptýlením oleje v syntetické kapalině můžeme vytvořit polysyntetickou procesní kapalinu, která má příznivější mazací schopnosti. Ovšem v polysyntetických kapalinách jsou olejové částice v mnohem menším obsazení než v emulzích.

Metoda obrábění	Ocel			litina	nikl a jeho slitiny	bronz a mosaz	měď a slitiny	hliník a slitiny	hořčík a slitiny
	nízko- uhlíková	s vyšším obsahem uhlíku	nerez oceli						
Soustružení	D 3	D 5	D 10	-	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vystružování	E, D 10	F	J	D 5	E	B	B	B	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Řezání závitů na automatech	E	H	H	-	H	B	A	C	B
Válcování závitů	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Řezání pilou	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E	F	J	D 5	-	B	-	-	-
Protahování	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C

Tab.1 Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění ³

A – minerální oleje

E – minerální oleje s přísadami

B – mastné oleje

F – lehké minerální oleje s přísadami

C – mastné oleje s přísadami

H – oleje aktivované

D – emulze (číslo udává koncentraci v %) J – maštěný olej s přísadami ³

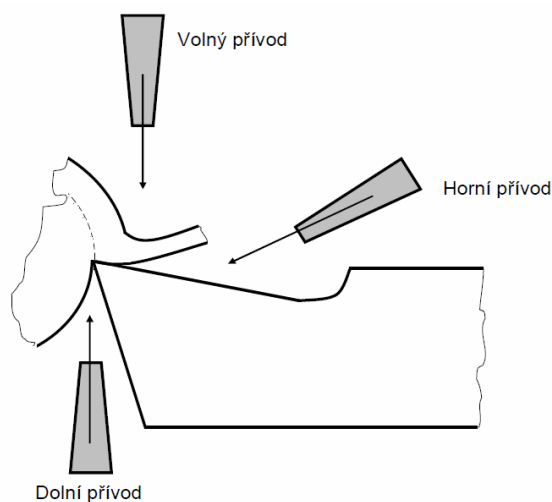
1.5 Metody přívodu procesní kapaliny do místa řezu

Trvanlivost břítu nástroje a jakost obráběné plochy je významně ovlivněna způsobem, kterým se přivádí procesní kapalina do zóny řezání, určením správného složení a také množstvím procesní kapaliny. Těmito faktory se ovlivňuje výrazně celý řezný proces.

1.5.1 Standardní chlazení

Jedná se o nejčastěji využívaný a nejjednodušší způsob přívodu procesní kapaliny, který nevyžaduje žádnou speciální úpravu přívodního potrubí a vystačí s úpravou dodávanou výrobcem ke každému obráběcímu stroji. Celé zařízení je složeno jen z nádrží na procesní kapalinu, rozvodovým potrubím a čerpadlem.

Procesní kapalina zasáhne nejdříve třísku a obrobek a teprve potom řezný nástroj. Celé množství dodávané kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem.



Obr.5 Přívod procesní kapaliny do místa řezu varianty uspoř. pro ortogonální řezání ¹

Volný přívod – procesní kapalina je přiváděna na odcházející třísku

Horní přívod – procesní kapalina je přiváděna mezi odcházející třísku a čelo nástroje

Dolní přívod – procesní kapalina je přiváděna mezi obrobek a hřbet nástroje

1.5.2 Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je procesní kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá 0,3 až 1 mm a tlak 0,3 až 3 MPa. Řezná kapalina je přiváděna zespodu na břit nástroje, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelně špatný vliv na trvanlivost nástroje. ¹

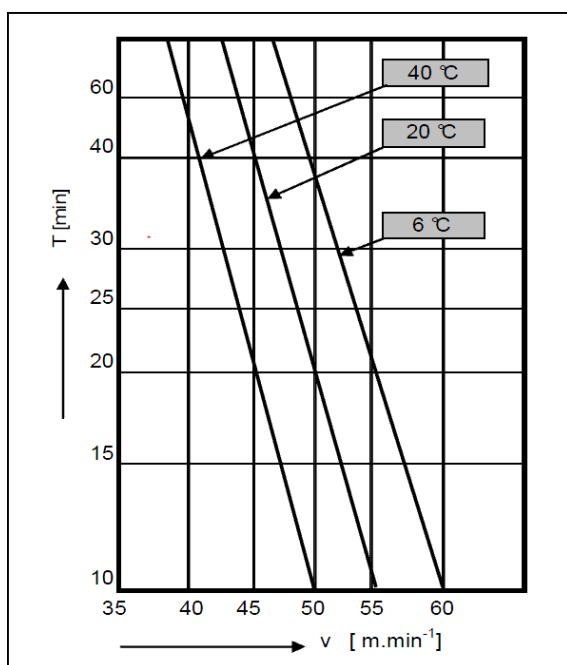
Hlavně je pro vrtání důležité, aby se procesní kapalina dostala až na řeznou hranu, která je umístěná v obráběném otvoru, kde je velmi ztížený přístup kapaliny i odvod třísek. Z důvodu aplikace procesní kapaliny s chladícím účinkem se neustále udržuje nízká teplota, která má za důsledek tvorbu krátkých třísek, které jsou lépe odstranitelné z místa řezu.

Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 l.min⁻¹. Jedním z nedostatků tohoto způsobu je, že se procesní kapalina rozstříkává a tvoří mlhu. Z tohoto důvodu je třeba řešit vhodné krytování pracovního prostoru stroje, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí. ¹

1.5.3 Podchlazování procesní kapaliny

Podchlazování procesní kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí, přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy procesních kapalin mohou být při zachování mazacích vlastností podchlazeny na 5 až 7 °C, oleje potom na 15 až 20°C. Podchlazení na nižší teploty je omezeno stálostí procesní kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů.¹

Snížení teploty procesní kapaliny na teploty pod bodem mrazu znamená, že je nutné použít jiné složení kapaliny, díky této úpravě může dojít ke zvýšení výkonu obrábění.¹



Výsledky zkoušek některých autorů ukazují, že snížení teploty ze 40 °C na 5 až 10 °C zvětšuje trvanlivost bříty nástroje při hrubování o 200 % při polohrubování o 130 %.⁹

Graf 1 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti pro různé teploty procesní kapaliny⁹

1.5.4 Chlazení řeznou mlhou

Řezná mlha bývá zpravidla olejová emulze, která je rozptýlená tlakem vzduchu vytékající z trysky rychlostí až 300 m.s⁻¹. Velmi dobrého odvodu tepla u místa řezu se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky procesní kapaliny a tím má větší schopnost přejímat vzniklé teplo.¹

Pro tuto metodu je důležité, aby se zabránilo v co největší míře úniku proudu řezné mlhy. Je tedy nutné zabezpečit kvalitní krytování, těsnění stroje a speciální zařízení pro znovu zkapalnění aerosolových částic z pracovního prostoru stroje.

Využití tohoto způsobu chlazení nacházíme tam, kde je klasické chlazení nevhodné, což je např. při výrobě velmi tenkých součástí nebo chlazení nástrojů s keramickými destičkami.

1.5.5 Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení je metoda, která přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění. U vrtáků je vnitřní chlazení upraveno tak, že procesní kapalina je přiváděna až do místa řezu. Tento způsob chlazení se využívá především při vrtání hlubokých děr a při vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Také zvýšení tlaku procesní kapaliny přiváděné do místa řezu ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek.¹



*Obr.6 Aplikace vrtání s vnitřním chlazením*¹⁰

1.5.6 Ochlazování plynným prostředím

Tento typ ochlazování pomocí plynných látek se běžně nepoužívá, jelikož plynné látky mají relativně malý chladicí účinek a žádný mazací účinek ve srovnání s procesní kapalinou, a to z toho důvodu, že nedochází k teplotnímu spádu pomocí smáčivosti.

Jedním z účinných způsobů chlazení plynem je chlazením stlačeným CO₂. Tento způsob je doporučován jako vhodný při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tenký paprsek plynu se přivádí do místa řezu pod tlakem 0,5 až 7 MPa. ¹

Tato metoda, i když přináší zvýšení výkonu obrábění, má řadu nevýhod, k nimž patří především vysoká pořizovací cena plynů (argon, CO₂,...), proto se používá chlazení plynem vzduchu, který musí být zbaven v kompresorovně obsahu vody. Používání ostatních plynů v běžných výroбах přináší jisté nebezpečí a je nutné vybudování dokonalého odsávání a větrání pracoviště.

Zvláštním případem aplikace plynného řezného prostředí je tzv. suché obrábění, kdy řezným prostředím je atmosférický tlak. Tento způsob obrábění se v souvislosti s bouřlivým vývojem řezných materiálů rozšiřuje a výhodně uplatňuje. ¹

2 Trvanlivost nástroje

2.1 Trvanlivost břitu nástroje při třískovém obrábění

Doba trvání řezného procesu, která koresponduje s provozuschopným stavem břitu, se označuje jako trvanlivost. Je to doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce, které jsou identifikovány příslušnými parametry. Trvanlivost nástroje je tedy určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje. ¹

Z technologického hlediska rozlišujeme poruchy nástroje jako postupné a náhlé. Postupná porucha je postupná změna jednoho nebo více parametrů např. opotřebení nástroje. Náhlá porucha je prudká změna jednoho nebo více parametrů např. destrukce břitu nebo vylomení břitu.

V dřívějších dobách často existoval jen jediný parametr trvanlivosti, a to parametr, který určil, že nástroj již není schopen dále obrábět. V současnosti konec trvanlivosti nástroje znamená, že nástroj už není schopen plnit stanovené úkoly. Kritéria trvanlivosti mohou být zcela jiná vzhledem ke konečným požadavkům na obráběný materiál.¹⁶

Z těchto důvodů sledujeme i tyto parametry:

- stav povrchu obrobku
- přesnost rozměrů
- způsob opotřebení břitu nástroje
- způsob utváření třísky
- stanovená doba trvanlivosti¹⁶

2.2 Taylorův vztah

Trvanlivost nástroje je závislá na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech nástrojového a obráběného materiálu a řezných podmínkách (posuvová rychlost a řezná rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí). Počátkem 20. století objevil F.W. Talyor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin. V České Republice znám pod názvem “ $T - v_c$ závislost” někdy také jako Taylorův vztah.¹⁵

$$T = f(v_c) = c_T \cdot v_c^{-m} \quad [\text{min}]$$

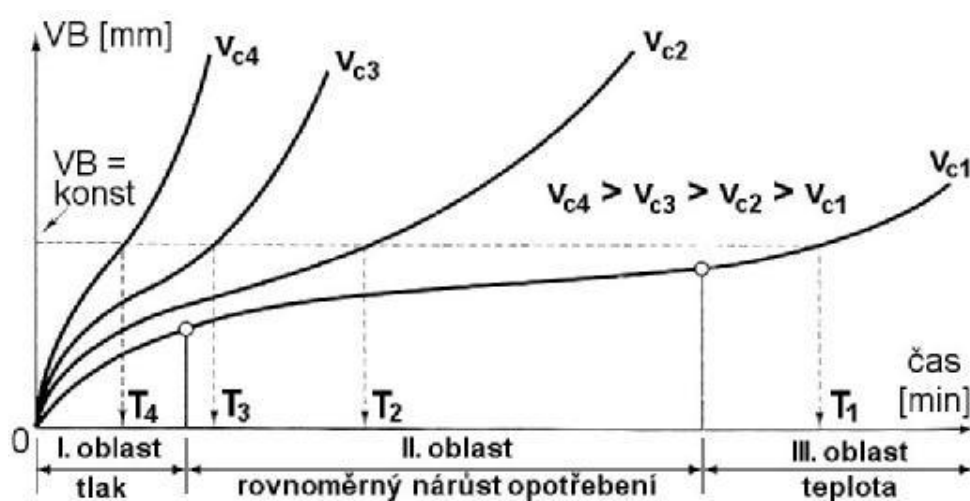
kde c_T - konstanta, $[-]$

m - exponent, $[-]$

v_c - řezná rychlost. $[m \cdot \text{min}^{-1}]^1$

Konstanta c_T závisí především na materiálu obrobku a nástroje, nabývá hodnot 10^8 až 10^{12} . Velikost exponentu m charakterizuje především vlastnosti řezného nástroje:

nástroje oceli	$m = 10 - 8$ (až 6)
rychlořezné oceli	$m = 8 - 5$ (až 3)
slinuté karbidy	$m = 5 - 2,5$ (až 2)
řezná keramika	$m = 2,5 - 1,5$ (až 1,2) ¹



Obr. 7 Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech ¹⁵

Postup při stanovování základní $T - v_c$ závislosti pro konkrétní kombinaci řezný nástroj – obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. Za ostatních konstantních řezných podmínek je daný materiál obráběn daným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje, který se poté vynáší do závislosti $VB = f(t)$ viz obr.6. ¹⁵

Poté jsou z časových křivek VB odečteny hodnoty trvanlivosti, které odpovídají zvoleným řezným rychlostem. Body o souřadnicích $v_{c1} - T_1$, $v_{c2} - T_2$, atd. jsou pak vyneseny diagramu s logaritmickými souřadnicemi T a v_c , kde vytvoří přímku, která odpovídá zvolené hodnotě VB viz obr.7. ¹⁵

Nevýhodou uvedených základních tvarů je omezení následujícími podmínkami:

- šířka záběru ostří $a_p = konst$,
- posuv na otáčku $f = konst$,
- opotřebení $VB = konst$.¹⁵

V praxi jsou často používány rozšířené vztahy pro $T - v_c$ závislost ve tvaru:

$$v_{cT} = \frac{c_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}$$

kde c_{vT} - konstanta, $[-]$

x_v - exponent, vyjadřující vliv

hloubky řezu, $[-]$

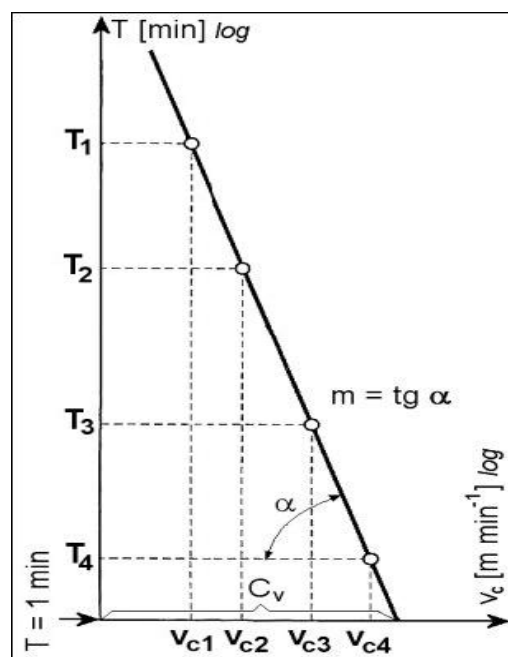
y_v - exponent, vyjadřující vliv

posuvu na otáčku. $[-]$

nebo ve tvaru:

$$v_{cT} = \frac{c_v}{T^{\frac{1}{m}} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}$$

Výhodou těchto vztahů je menší počet omezujících podmínek ($T = konst$, $VB = konst$). Nevýhodou je mnohem větší rozsah zkoušek, potřebných pro jejich konkrétní stanovení.¹⁵



Obr. 8 Zlogaritmovaný diagram $T - v_c$ ¹⁵

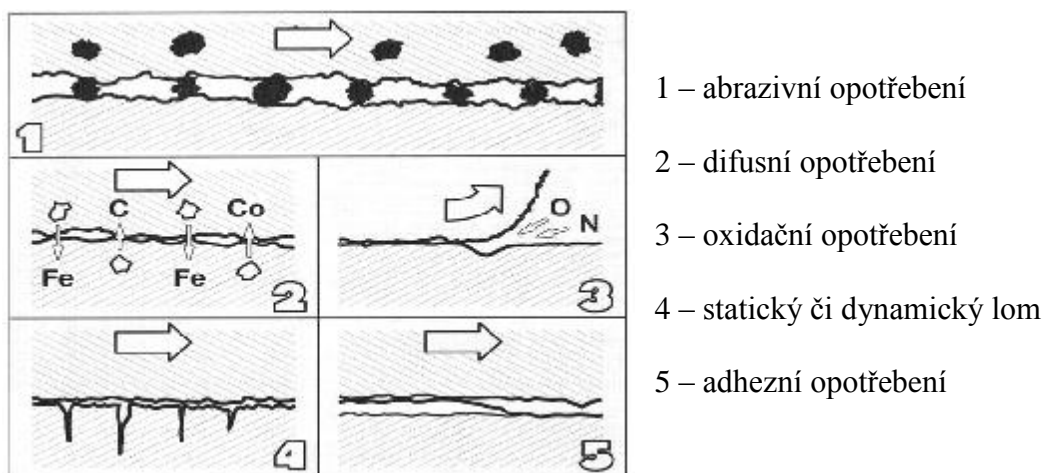
2.3 Otupování břitů obráběcího nástroje

Břit řezného nástroje po určitou dobu obrábí a přitom na něj stále působí složitý systém fyzikálních a chemických procesů. Ty způsobí, že jeho původní tvar a drsnost pracovních ploch doznají úhony, tj. opotřebují se, či otupí se.¹⁴

Fyzikální podstata opotřebení břitů a strojních součástí je stejná, jen podmínky za nichž probíhají, se výrazně odlišují. To působí, že otupení řezného nástroje je podstatně rychlejší a je znatelné po několika minutách práce. Příčinou jsou především vysoké tlaky (1500 až 2500 MPa) a teploty (800 až 1000°C).¹⁴

2.3.1 Základní mechanismy opotřebení

Na základě analýzy zatěžujících faktorů (mechanických, tepelných, chemických a abrazivních) břitů nástroje je možné identifikovat základní mechanismy opotřebení – více obr. 9.



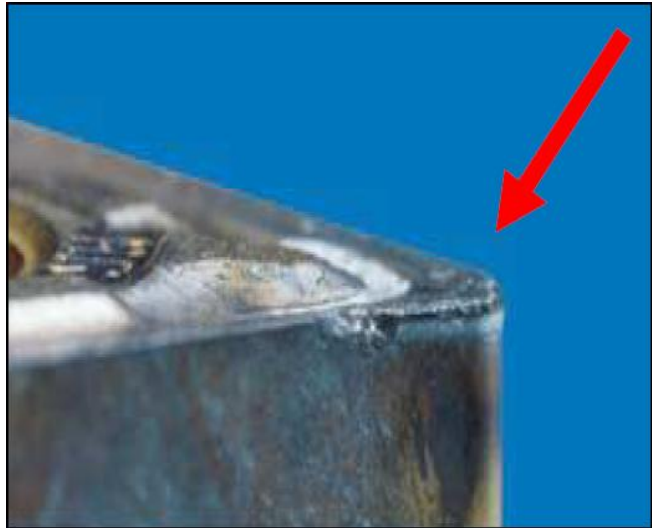
Obr. 9 Hlavní mechanismy opotřebení břitů nástrojů¹⁵

2.3.1.1 Abrazivní opotřebení

Je velmi rozšířenou formou opotřebení, která vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku.

Princip je podobný jako při broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje.¹⁶

Abrazivní otěr je významný při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností.¹



Obr. 10 Abrazivní opotřebení břitu nástroje¹⁷

2.3.1.2 Difuzní opotřebení



Obr. 11 Difuzní opotřebení břitu nástroje¹⁷

Vzniká působením chemických vlivů při obrábění. Chemické vlastnosti řezného nástrojového materiálu a jeho afinita obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difúzního opotřebení.¹⁶

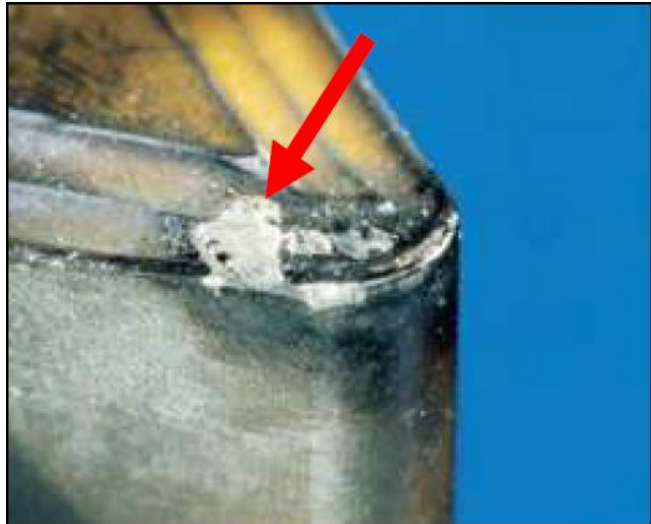
Difuzní otěr se vyskytne jen při disociačních teplotách 680 až 1200 °C, z čehož je patrné, že se

vyskytuje jen při obrábění nástrojem ze slinutých karbidů, keramických materiálů nebo diamantů.¹⁴

2.3.1.3 Adhezní opotřebení

Vyskytuje se při nízkých teplotách obrábění na čele bříty nástroje. Může vzniknout jak u ocelí s dlouhou i krátkou třískou – tj. u ocelí, hliníku a šedé litiny.¹⁶

Tento jev vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem, což je nežádoucí. Jedná se o část odebraného materiálu, který se natavil na nástroj. Dochází k poškození plochy nástroje, zhoršení drsnosti povrchu, a také zhoršení výrobní přesnosti obráběné součásti.



Obr. 12 Adhezní opotřebení bříty nástroje¹⁷

2.3.1.4 Oxidační opotřebení



Obr. 13 Oxidační opotřebení bříty nástroje¹⁷

Oxidační otěr vzniká za působení vzduchu a vysokých teplot při obrábění, kdy u kovů dochází ke ztrátě valenčních elektronů.

Největší přístup vzduchu do řezného procesu je v místě kontaktu bříty, kde končí šířka třísky, v těchto případech poté vznikají působením oxidace typické žlábký.

2.3.1.5 Lom

Lom má často termomech. příčiny. Kolísání teploty a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje.



Obr. 14 Opotřebení břitu nástroje lomem ¹⁷

3 Integrita povrchu

3.1 Integrita povrchu a její význam při obrábění

Obrábění je velice rozmanitý proces, který v sobě zahrnuje celou řadu souvislostí, podmínek a omezení. V oblasti obrábění používáme technologie s definovatelnou geometrií ostří (soustružení, frézování, vrtání, apod.) nebo technologie s obtížně nebo nedefinovatelnou geometrií ostří (broušení, honování, superfinišování, apod.). I přes jejich širokou použitelnost, výhody či nevýhody, mají tyto technologie jedno společné. Při všech vzniká díky tomuto procesu nový povrch. ¹¹

Takto vzniklý povrch se nazývá plocha obrobená. Má určité vlastnosti, které jsou závislé jednak na použité technologii, tak i na stanovených a použitých řezných podmínkách a řezném prostředí při jeho tvorbě. Existuje tedy celá řada faktorů, které musejí být uvažovány, aby byly zachovány kvalitativní parametry jednotlivých složek

integrity povrchu a nedošlo tím tudíž k neočekávaným, zejména negativním následkům při používání součástí. ¹¹

3.2 Složky integrity povrchu

Jak již bylo uvedeno, užité vlastnosti povrchu součástí, které předurčují jeho schopnost plnit požadované funkce, musíme také správně definovat a hodnotit. Integritu povrchu tvoří řada složek, jejichž definováním a hodnocením popisujeme vlastnosti povrchu, jeho kvalitu a predikujeme i vhodnost pro použití v různých prostředích, či aplikacích. ¹¹

Složkami integrity povrchu jsou:

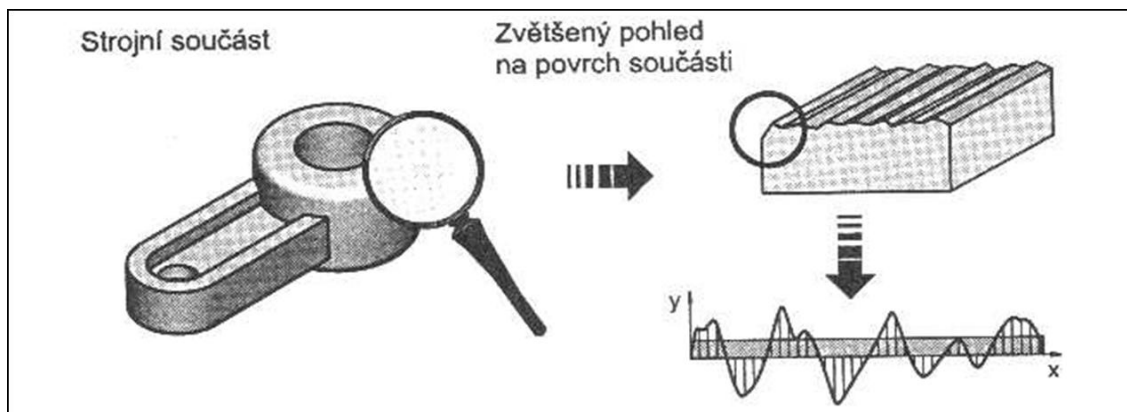
- drsnost povrchu
- geometrická přesnost
- změny tvrdosti v povrchové vrstvě
- změny struktury v povrchové vrstvě
- tepelné změny – opaly
- trhliny
- zbytková napětí ¹¹

3.3 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je důležitým činitelem zejména pro dynamicky namáhané součásti, které se začínají porušovat zpravidla od povrchu. Větší drsnost tedy nepříznivě působí na únavovou pevnost součástí, a popřípadě i na jejich odolnost proti otěru. ¹²

Obrobená plocha není v žádném případě ideálně hladká. Vykazuje vždy určitý stupeň drsnosti, který je určen mikronerovnostmi vzniklými při obrábění. Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Drsnost povrchu dosahovaná při obrábění může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj – nástroj – obrobek,

způsobem upínání obrobků, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, opotřebením nástroje apod.¹²



*Obr.15 Komplexní pohled na strojní součást*¹³

Drsnost povrchu obrobení plochy je zpravidla různá v příčném a podélném směru. Příčný směr je kolmý ke směru řezného pohybu, podélný je s řezným pohybem rovnoběžný.¹²

3.3.1 Metody měření drsnosti povrchu

Stanovení drsnosti povrchu můžeme provést různými způsoby. V zásadě se tyto způsoby dělí na :

a) kvalitativní metody –

kdy hodnotíme obrobenou plochu srovnáním se vzorkem bez číselného vyhodnocení velikosti drsnosti.

b) kvantitativní metody –

kdy hodnotíme obrobenou plochu tak, že stanovíme velikost normou předepsaného kritéria např. R_a , R_z , R_{max} , případně jiné veličiny charakterizující jakost obrobené plochy.¹⁴

3.3.2 Parametry určující drsnost povrchu

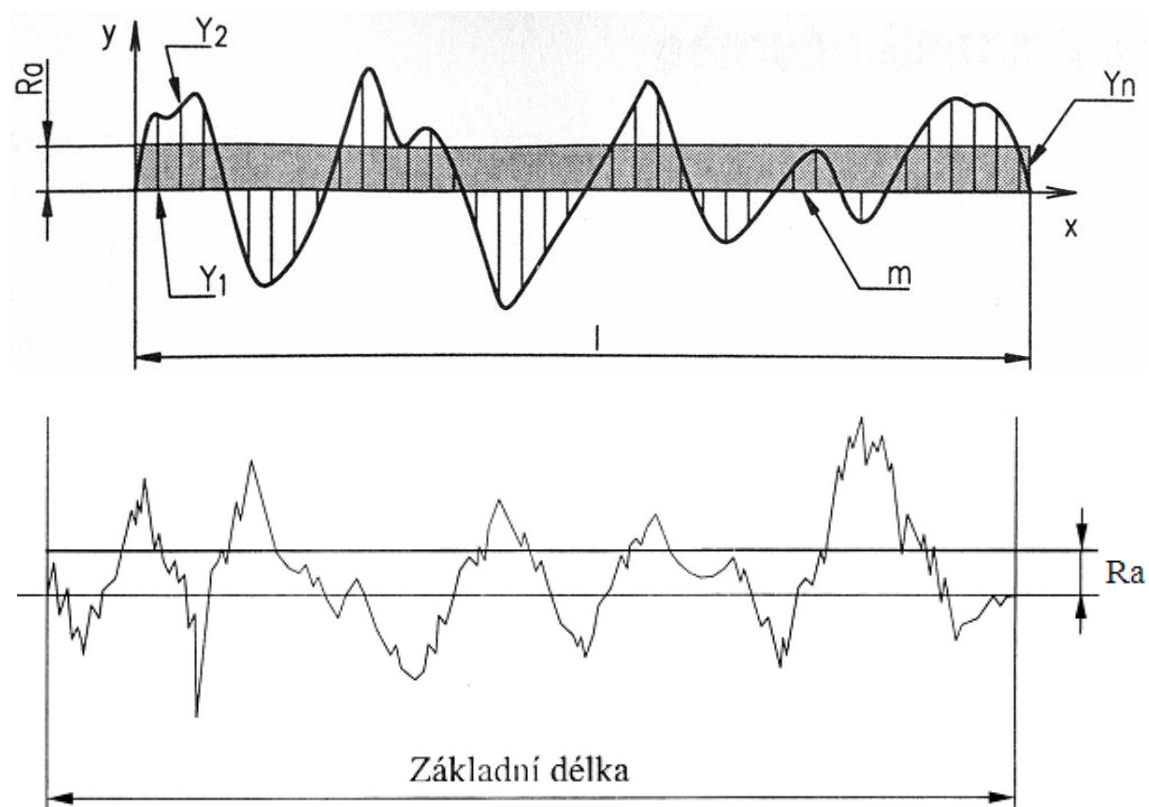
Existují tři základní parametry, na jejich základě se hodnotí drsnost povrchu:

- výškové parametry,
- délkové parametry,
- tvarové parametry.¹⁵

3.3.2.1 Výškové parametry

Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Nazývá se taky střední aritmetická úchylka a je dána normou ČSN EN ISO 4287. V České Republice je nejběžnější metodou pro hodnocení drsnosti povrchu střední aritmetická úchylka, která je určena pomocí střední aritmetické hodnoty absolutních hodnot úchylek $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ profilu v rozsahu základní délky l . Absolutní hodnoty úchylek se odečítají ke střední aritmetické čáře profilu m , která rozděluje skutečný profil tak, že v rozsahu základní délky jsou součty ploch obou jejích stran stejné



Obr.16 Určení střední aritmetické úchylky profilu R_a ¹³

Vzorec pro statickou metodu určení R_a :

- k dosažení výpočtu využíváme integrální počet, popřípadě statistické metody
- nerovnosti jsou pokaždé charakterizovány v rozsahu základní délky l

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} \quad [\mu m]$$

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad [\mu m]$$

Tab.2 Doporučené hodnoty základní délky l

Doporučená základní délka l [mm]						
Základní délka	0,08	0,25	0,8	2,5	8	25

Tab.3 Praktická řada hodnot parametru R_a

Parametr	Praktická řada hodnot											
<u>Ra</u>	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025

Hodnoty drsnosti povrchu jsou závislé především na metodě výroby povrchu. Proto při jejím předepisování musíme vždy zvážit účelnost použití jednotlivých funkčních a volných ploch součástí. Zbytečná volba vysoce kvalitních povrchů může u strojních součástí výrazně zvýšit jejich konečnou cenu. Drsnosti povrchu součástí volíme vždy optimálně s ohledem na jejich funkci. ¹³

Tab.4 Hodnoty drsnosti dosažení jednotlivými druhy výroby

Ruční pilování jemné	1,6
Soustružení	16 až 0,2
Vrtání, vyvrtávání	1,6 až 0,2
Broušení do kulata	0,04 až 0,025
Broušení vnitřní	0,04 až 0,025
Broušení na plocho	0,4

Hoblování	3,2 až 1,6
Protahování jemné	0,8
Vystružování	0,8
Frézování	3,2 až 0,8
Lapování	0,1 až 0,05
Hoblování a superfinišování	3.2 až 0,025

Největší výška výstupku R_p

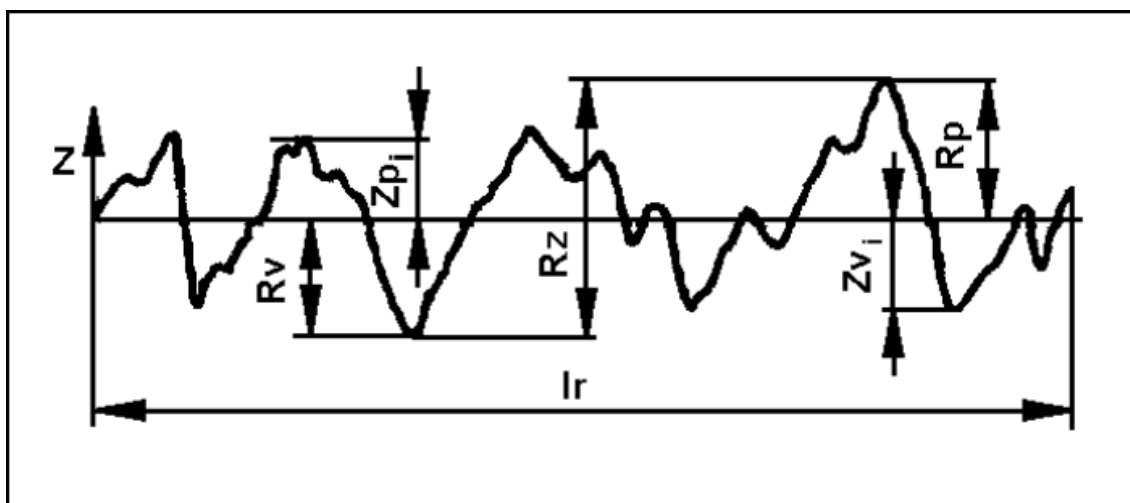
- jedná se o největší výšku profilu Z_p v rozsahu základní délky (obr.15).

Největší hloubka prohlubně profilu R_v

- největší hloubka prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky (obr.15).

Největší hloubka prohlubně profilu R_z

- součet největší výšky profilu Z_p a největší hloubky profilu Z_v v rozsahu základní délky (obr.15).¹⁵



Obr.17 Parametry R_v , R_p , R_z ¹⁵

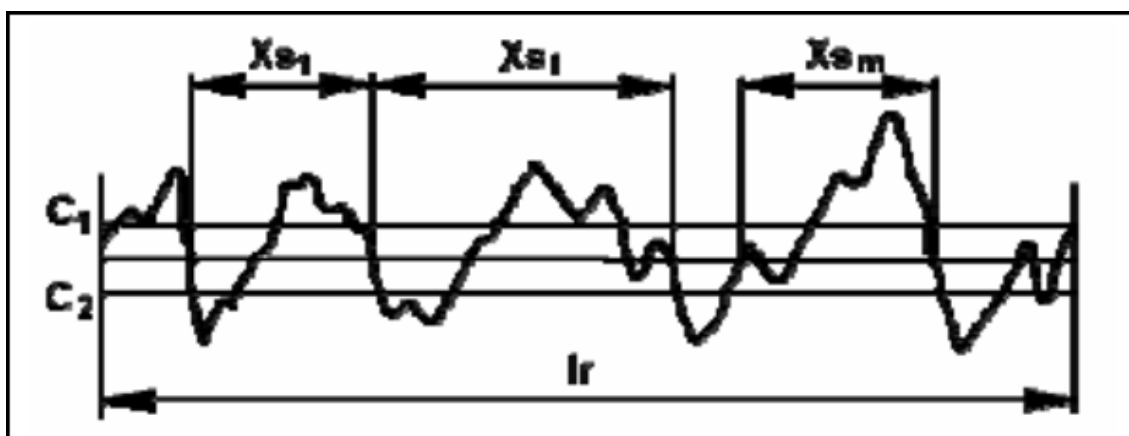
Průměrná kvadratická úchylka profilu R_q

- průměrná kvadratická hodnota odchylek $Z(x)$ profilu v rozsahu základní délky. Parametr R_q má význam při statickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic.¹⁵

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)|^2 dx} \quad [\mu m]$$

3.3.2.2 Délkové (šířkové) parametry

Průměrná vzdálenost prvků profilu RS_m



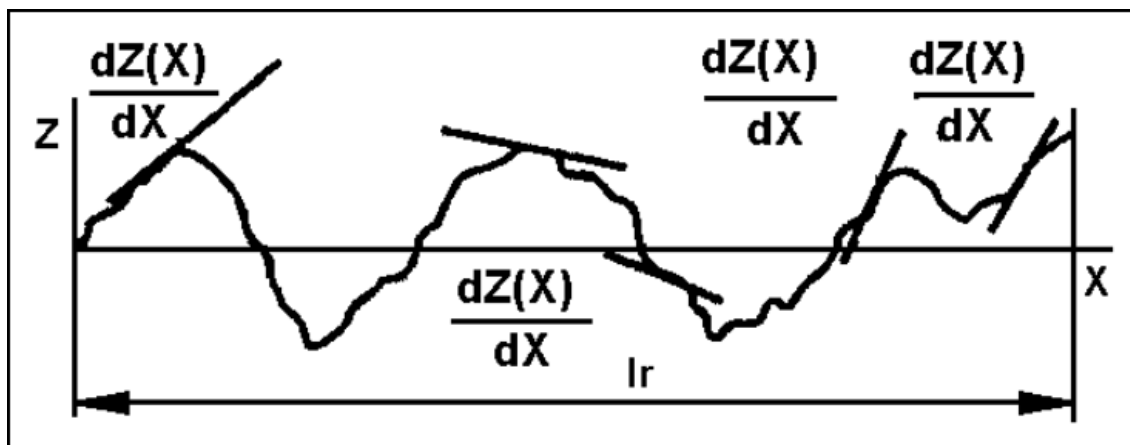
Obr.18 Parametr RS_m

- průměrná vzdálenost prvků profilu RS_m – průměrná hodnota šířek X_S profilu v rozsahu základní délky.¹⁵

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i} \quad [\mu m]$$

3.3.2.3 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $R\Delta_q$ – průměrná kvadratická hodnota sklonů dZ/dX v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo galvanickém pokovování.¹⁵



Obr.19 Parametr $R\Delta_q$ ¹⁵

$$R\Delta_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} \left(\frac{dZ}{dX} \right)^2 dx} \quad [\mu m]$$

4 Shrnutí teoretické části a cíle praktické části diplomové práce

V teoretické části diplomové práce bylo obecně charakterizováno:

- procesní kapaliny,
- trvanlivost nástroje,
- Taylorův vztah,
- integrita povrchu,
- drsnost povrchu.

Praktická část diplomové práce se zabývá:

- použité stroje a přístroje,
- navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu,
- měření trvanlivosti nástroje,
- měření jakosti povrchu,
- analýza výsledků.

Cílem diplomové práce je určit vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců při vrtání do nerezové ocele. Zejména zjištění vlivu procesní kapaliny na drsnost povrchu, konkrétně parametry R_a , R_z , nosný podíl a dále také na trvanlivost použitých vrtáků.

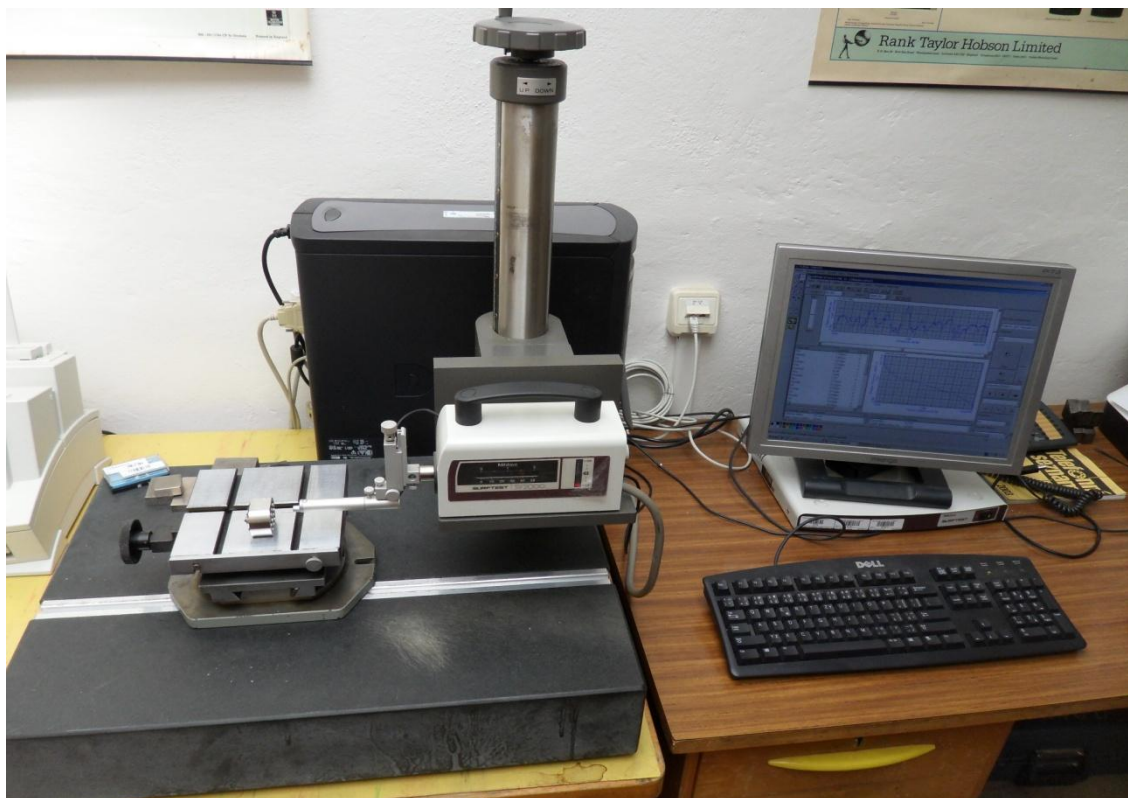
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 Popis použitých strojů a přístrojů

5.1 Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

K určení jakosti obrobené plochy jsem použil laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000 N2, stolní osobní počítač Dell s nainstalovaným programem Surfpak.

Program Surfpak verze 1.100 je navržen pro zpracování vstupních dat a ovládání vstupního profiloměru. Ovládání je prováděno pomocí grafického rozhraní ve Windows a jeho výstupy mají grafickou, tak i textovou formu.



Obr.20 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Toto měřicí zařízení jsem využíval zejména z důvodu určení parametrů R_a , R_z a také z hlediska určení nosného podílu plochy profilu. Technické parametry přístroje jsou v příloze č.2

5.2 Ruční refraktometr

Pro měření koncentrace emulzního oleje ve vodě, jsem použil ruční refraktometr RLC ATC K71901, díky němuž dojde k jednoduchému a rychlému určení koncentrace procesních kapalin, přičemž rozsah našeho přístroje je schopen měřit koncentrace v rozsahu 0 až 18 % Brix. Stupnice refraktometru je ve stupních Brix, což vyjadřuje celkovou koncentraci všech látek rozpuštěných ve vodě a uváděny jsou v procentech.



Obr.21 Refraktometr Optech Brix

5.3 Nástrojová lupa Brinell

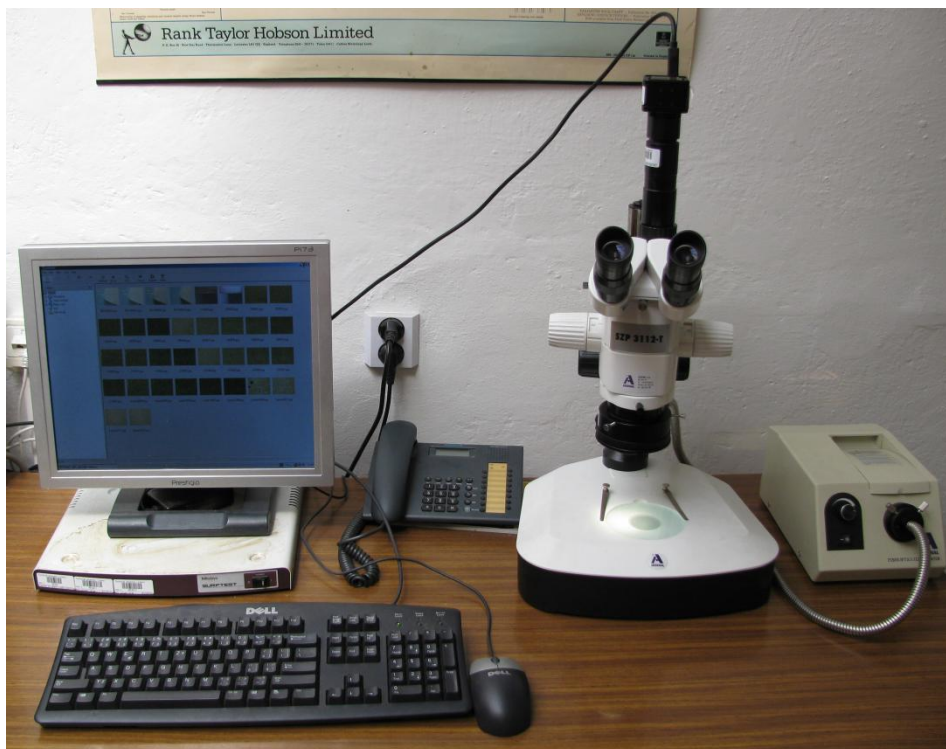
Opotřebení vrtáku bylo měřeno nástrojovou lupou Brinell. Velikou výhodou této lupy je přesnost a rychlost měření bez nutnosti použití mikroskopu. Zvětšení této lupy je 24x a stupnice je rozdělena po 0,05mm.



Obr.22 Nástrojová lupa Brinell

5.4 Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

Pro zdokumentování velikosti opotřebení hlavního ostří a špičky vrtáku jsem použil mikroskop Arsenal SZP 3112-T, ke kterému byla připojena laboratorní kamera LABO 3MP. Tato optická kamera je propojena se stolním počítačem Dell, kde se fotografie zobrazuje a uloží pomocí programu Minisee.



Obr.23 Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

5.5 Nástrojová frézka FNG 32

Vrtání děr bylo uskutečňováno na nástrojařské frézce FNG 32 od společnosti TOS Olomouc s.r.o. (obr.24), která je součástí strojního vybavení laboratoře Katedry obrábění a montáže Technické Univerzity v Liberci. Technické parametry frézky jsou uvedeny v tabulce č.5

Tento obráběcí stroj je vybaven číslicovou indikací polohy od firmy HEIDENHAIN s.r.o. Frézka FNG 32 je určena pro frézovací, vyvrtávací, vrtací a závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě, zejména v nářadovných.

TECHNICKÉ ÚDAJE

FNG 32

STŮL

Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400
Upínací drážky – počet		7
– šířka a rozteč	mm	14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg	350
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm	600
– příčný (Y)	mm	400
– svislý (Z)	mm	400
Posuvy – počet stupňů		plynule
– rozsah X, Y	mm/min.	15–1 000
– rozsah Z	mm/min.	6–400
Rychloposuv X, Y	mm/min.	2 000
Z	mm/min.	800

HORIZONTÁLNÍ VŘETENO

ISO40

Vzdálenost osy vřetene		
od plochy pevného stolu	mm	148–548
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Řazení otáček		plynulé

VERTIKÁLNÍ VŘETENO

ISO40

Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	250–650
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Řazení otáček		plynulé
Natočení vřetena		± 90°
Výsuv pinoly	mm	80
Upínání nástroje		pneu-hydraulické

STROJ

Výkon hlavního motoru	kW	4,0
Výkon posuvového motoru	kW	1,1
Celkový příkon	kVA	22
Hmotnost	kg	2 500
Zastavěná plocha	mm	2 070 x 2 120
Výška	mm	2 115

Tab.5 Přehled technických údajů frézky FNG 32 ¹⁸



Obr.24 Nástrojová frézka FNG 32

5.6 Pásová pila PILOUS AGR 300 PLUS

Tuto pásovou pilu na kov jsme využili ke zkrácení na požadovanou délku polotovaru. Její předností jsou zejména vysoká produktivita a přesnost řezu i u velkých průřezů materiálu. Má dvě řezné rychlosti 35 a 70 m/min. Rameno pilového pásu se zvedá ručně, posuv do řezu je prováděn vlastní vahou ramene s možností plynule regulace škrtícím ventilem olejového tlumiče.¹⁹



Obr.25 Pásová pila na kov

5.7 Čerpací jednotka

Z důvodu toho, že práce je soustředěna na zkoumání procesních kapalin a tudíž byla nezbytná výměna jedné kapaliny za druhou, zvolili jsme zařadit do okruhu frézky FNG 32 externí čerpací jednotku. Díky této externí jednotce byla častá výměna procesního kapaliny mnohem snadnější a rychlejší.

Procesní kapalina byla přiváděna do místa řezu z nádrže díky chladicímu zařízení s čerpadlem a elektromotorem, které se nachází standardně v laboratoři KOM.



Obr.26 Čerpací jednotka a nádrž s PK

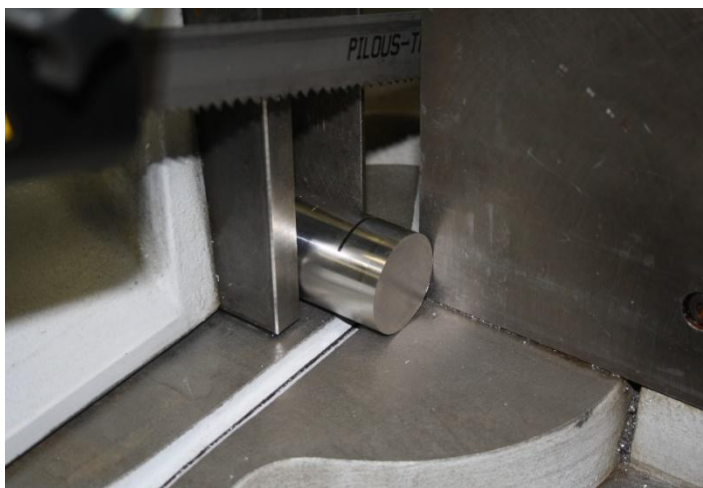
6 Navržení metodiky experimentu

6.1 Příprava zkušebních vzorků

Materiál z nerezové oceli byl jako polotovár dodán v tyčovitém stav o \varnothing 45 mm viz obr. 27. Pro náš experiment musel být nejprve polotovár uříznut na požadovanou délku na pásové pile PILOUS AGR 300 PLUS viz kapitola 5.6, která se nachází v laboratořích KOM.



Obr.27 Polotovár z nerez. oceli



Obr.28 Řezání na pásové pile Pilous

Poté byl frézováním upraven na finální rozměry a ostré hrany byly začištěny pomocí pilníku, aby nedocházelo ke zranění při manipulaci. Finální zkušební vzorek je k nahlédnutí na další fotografii.



Obr.29 Zkušební vzorek

6.2 Příprava procesní kapaliny

Pro náš výzkum byly použity procesní kapaliny, které jsou mísitelné vodou, z čehož vyplývá, že pro přípravu těchto kapalin je základem voda, u které je velmi důležitá její kvalita. V našem případě jsme využili standardní pitnou vodu z vodovodního řádu, která má neutrální hodnotu pH 7.

Míchání provozních kapalin jsme prováděli v čistém plastovém kanystru. Celá příprava obráběcí kapaliny se vždy provádí tak, že za stálého míchání přiléváme kapalinu do vodou naplněného kanystru, přičemž koncentrace u všech vzorků kapalin byla vždy 5%.

K dodržení přesného míšícího poměru jsem využil ruční refraktometr. Toto měření koncentrace se provádělo opakovaně, než jsme vytvořili správný míšící poměr. Důležité je, dát si zejména pozor na korekční faktor, který je pro každou procesní kapalinu uveden od dodavatele.

Po docílení správné koncentrace procesní kapaliny jsme mohli zavést kapalinu do chladicího okruhu stroje a začít se samotným vyvrtáváním děr na připraveném zkušebním vzorku.

6.3 Použité procesní kapaliny

Pro experimentální řešení mé diplomové práce bylo zvoleno dvanáct zcela odlišných procesních kapalin od nejlepších světových výrobců. U kterých jsme pro celou dobu tohoto experimentu dodrželi jejich koncentraci na 5%.

Výpis všech použitých procesních kapalin:

- voda, Blaser Vasco 1000, Paramo ESOK: 1.0F, 1.1D, 1.1B, 1.0D, 1.0E, Blaser Grindex 10, Cimcool Cimstar 620, Paramo EOPS 1030, Houghton Hocut 975 B, Blasocut BC 35 Combi.

6.4 Řezné podmínky

Jako u každého obráběcího procesu je velmi důležité nejprve stanovit vhodné řezné podmínky. Důležité bylo zejména zohlednit doporučené řezné rychlosti pro vrták, obráběný materiál a parametry frézky. Všechny provedené experimenty byly při stejných řezných podmínkách.

Zvolené řezné podmínky pro vrtání:

- $v_c = 24,12$ [m/min]
- $f = 48$ [mm/min]
- $a_p = 0,05$ [mm]

6.5 Postup při obrábění

Samotné vrtání bylo prováděno za neustálého přívodu chladicí kapaliny na frézce FNG 32 s vrtákem o \varnothing 8 mm. Každý zkušební vzorek z nerezové oceli byl pečlivě označen, poté na pracovní desku stolu byl upnut svěrák, do kterého jsme dále upínali předem připravené vzorky. Dále jsme nastavili na ovládacím panelu stroje potřebné řezné podmínky a najeli jsme vrtákem na požadované umístění, kde byly postupně vyvrtávány díry. Po navrtání námi určeného počtu děr jsme si označili díru, u které jsme poté v laboratořích KOM zkoumali její drsnost povrchu.

Ze sklíčidla frézky jsme vyndali námi používaný vrták a za pomoci nástrojové Brinellové lupy určili jeho opotřebení.



Obr.30 Upevnění vzorku ve svěráku

6.6 Metodika zkoumání trvanlivosti nástroje

Před naším experimentem jsme určili opotřebení vrtáku VB na 0,3 mm, ovšem v některých případech bylo nutné proces vrtání zastavit před projetím celé hloubky vzorku, aby nedošlo k překročení tohoto kritéria. Stádium, ve kterém se nacházelo opotřebení, se dalo určit také orientačně z hluku a rázu stroje.

Po vyvrtání určitého počtu děr se vrták vyjmul ze systému upínání nástroje, poté se ihned změřilo přímo u stroje opotřebení hlavního ostří pomocí nástrojové lupy Brinell. Tento pracovní postup se opakoval pokaždé až do kritéria opotřebení nástroje, které bylo stanoveno pro všechny procesní kapaliny stejné.

Všechny hodnoty opotřebení vrtáku a počet vytvořených děr pro každou procesní kapalinu byl pečlivě zaznamenán, a poté pomocí tabulek a grafu budou vypracovány hodnoty trvanlivosti nástroje. Celkově jsem uskutečnil dvě zkoušky pro každé procesní prostředí, z čehož tedy vyplývá, že jsem provedl celkem 24 experimentů.

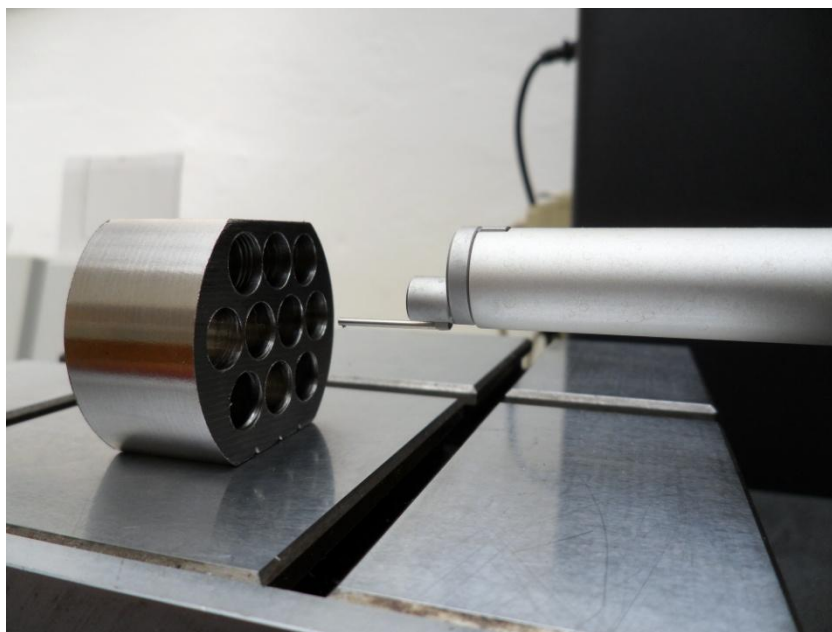
Dále jsem odnesl všechny použité vrtáky do laboratoře KOM, kde jsem provedl pomocí mikroskopu Arsenal SZP 3112-T a programu Minisee fotografie jednotlivých opotřebení vrtáku.

6.7 Metodika zkoumání drsnosti povrchu

Po dokončení obrábění následovalo přenesení všech zkušebních vzorků do laboratoře KOM, která je určena pro měření jakosti povrchu.

K měření drsnosti povrchu námi obrobených vzorků jsem použil profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000, který je podporovaný softwarem Surfpak. Měřenými parametry pro náš experiment jsem zvolil R_a , R_z a nosný podíl profilu.

Střední aritmetická odchylka R_a se nejčastěji využívá k hodnocení povrchu. Jedná se o průměrnou aritmetickou hodnotu absolutních odchylek profilu v rozsahu základní délky. Parametr R_z je výškovou charakteristikou drsnosti určenou vzdáleností mezi nejvyšší výškou profilu a hloubkou nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky.

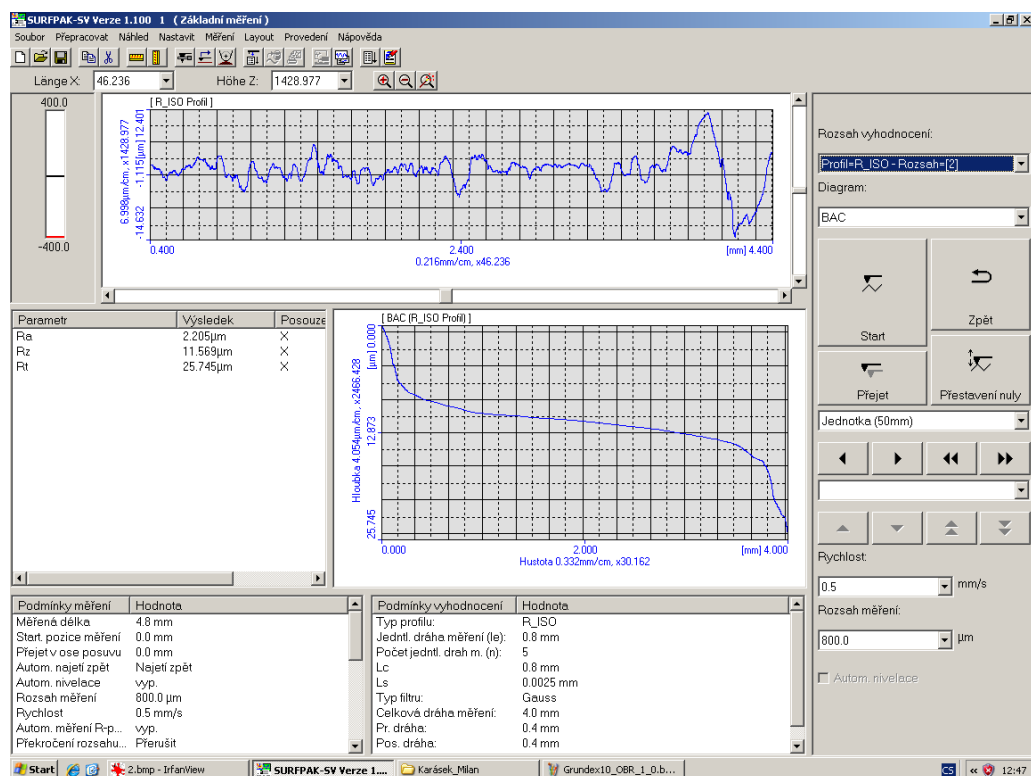


Obr.31 Průběh snímání drsnosti povrchu

Nosný podíl profilu zkušebních vzorků byl vyhodnocen programem Surfpak a je graficky vyjádřen Abbottovou křivkou. Pomocí polohy křivky a její průběh jsou hlavními hodnotícími parametry, přičemž křivka položená výše s nižším sklonem udává profil s větším podílem kovového materiálu těsně pod povrchem a naopak.

Jelikož se jednalo o měření drsnosti po operaci vrtání a \varnothing díry byl 8 mm musel jsem využít speciální diamantový snímač pod označením 12AAB404. Tento speciální diamantový hrot musí přejet vzdálenost 4,8 mm, aby mohl systém vyhodnotit výsledky drsnosti, přičemž se pohybuje rychlostí 0,5 mm/s. Další základní nastavení měření bylo $l_n = 4$ mm a rozsah měření 800 μm .

Pro každé ze dvanácti procesních prostředí jsem provedl 10 měření pro každou díru, aby byla zajištěna statistická přesnost, z čehož tedy vyplývá, že bylo provedeno celkem 120 měření. Program Surfpak vyhodnotil výsledky v grafické a datové podobě, ze kterých jsme získali průměrné hodnoty. Tyto získané údaje jsem zpracoval do podoby tabulek a grafů, ze kterých budou dále vyvozeny patřičné závěry o vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu.



Obr.32 Datové a grafické výsledky měření

7 Zjištění vlivu PK od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje při vrtání nerezové oceli

V následující kapitole je zkoumána trvanlivost nástroje při vrtání nerezové oceli. Nejdříve jsou zpracovány formuláře pro každé procesní prostředí, poté následuje vyhodnocení a určení nejlepší procesní kapaliny zkoumané z hlediska trvanlivosti nástroje, při určení opotřebení $VB = 0,3$ mm.

Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **VODA**

datum měření: 24.4.2013

- obráběný materiál: **ČSN 17 481**

prof. Popov,
měření provedl: Karásek

Podmínky měření

stroj

Frézka FNG 32

druh nože

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

druh a materiál VBD

řezné podmínky

$v_c = 24,12$ m/min; $f = 48$ mm/min; $a_p = 0,05$ mm

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

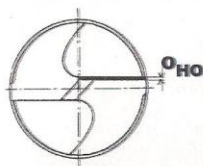
koeficient refrakce

velikost na refraktometru

kritérium opotřebení

VB = 0,3 mm

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

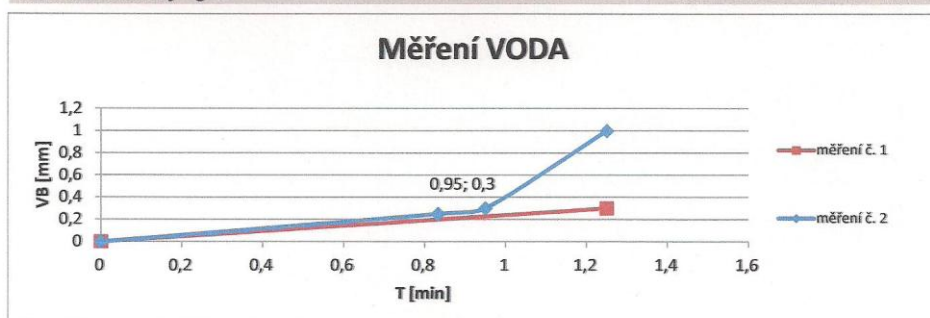
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
60	1,25	0,3
60	1,25	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
40	0,83	0,25
60	1,25	1

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

1,25 min

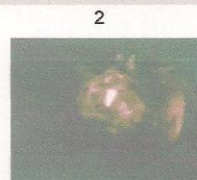
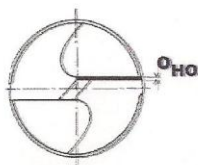
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **VASCO 1000** datum měření: **24.4.2013**
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: **prof. Popov, Karásek**

Podmínky měření

stroj **Frézka FNG 32**
 druh nože **vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm**
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky **vc = 24,12 m/min; f = 48 mm/min; ap = 0,05 mm**
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny **5%**
 koeficient refrakce **1**
 velikost na refraktometru **5**
 kritérium opotřebení **VB = 0,3 mm**

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

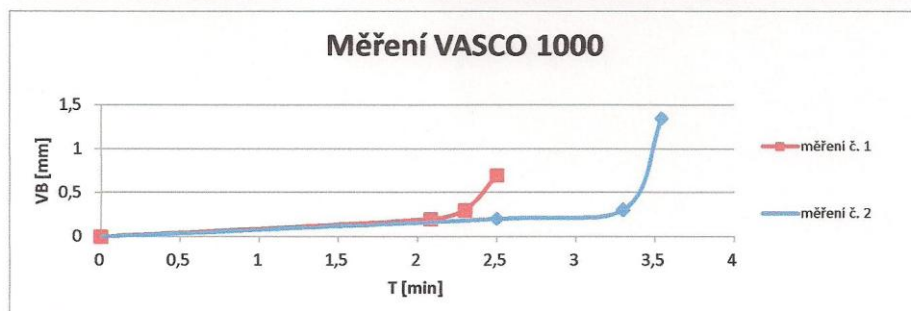
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,2
120	2,50	0,7

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
120	2,50	0,2
170	3,54	zničen vrták

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

3,02 min

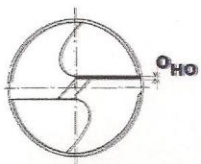
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: ESOK 1.0F datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: ČSN 17 481 měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 3,1
 velikost na refraktometru 1,6
 kritérium opotřebení VB = 0,3 mm

Schéma měření a fotografie opotřebeného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

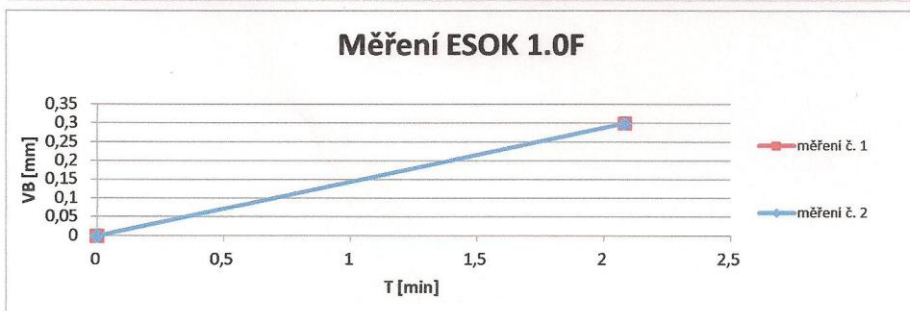
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

2,08 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **ESOK 1.1D** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1,88
 velikost na refraktometru 2,7
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebeného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

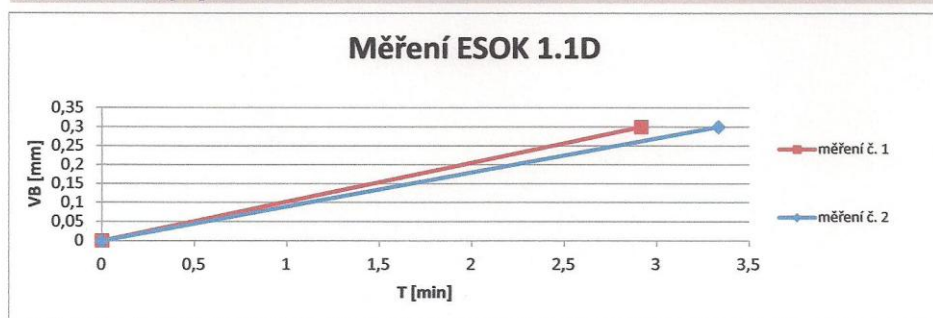
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
140	2,92	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
160	3,33	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

3,13 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

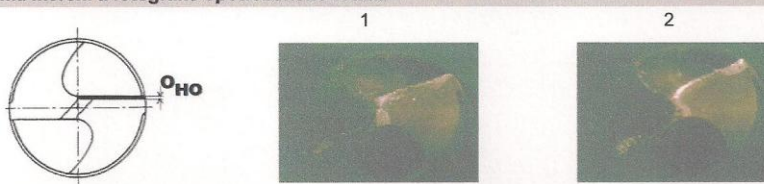
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **ESOK 1.1B** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 2,1
 velikost na refraktometru 2,4
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebeného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

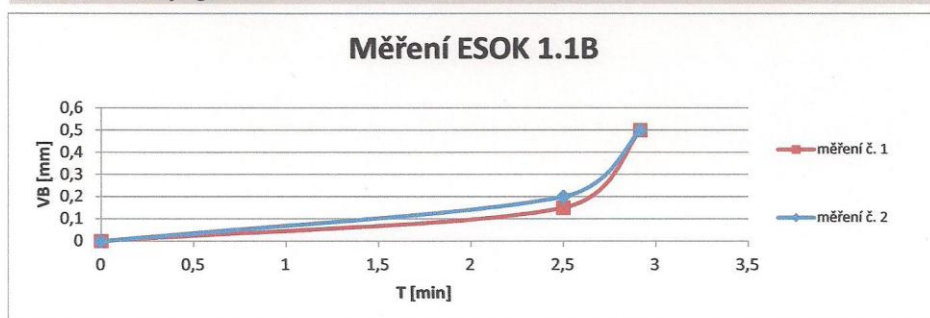
1		
L	T	VB
[mm]	[min]	[mm]
0	0	0
120	2,50	0,15
140	2,92	0,5

2		
L	T	VB
[mm]	[min]	[mm]
0	0	0
120	2,50	0,2
140	2,92	0,5

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost 2,71 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

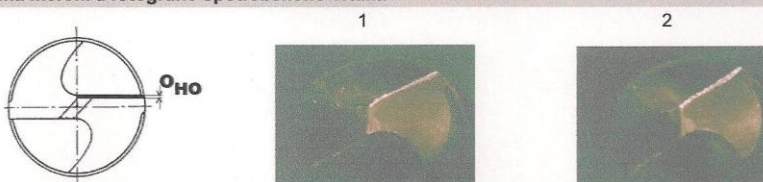
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **GRINDEX 10** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1,6
 velikost na refraktometru 3,1
 kritérium opotřebení VB = 0,3 mm

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



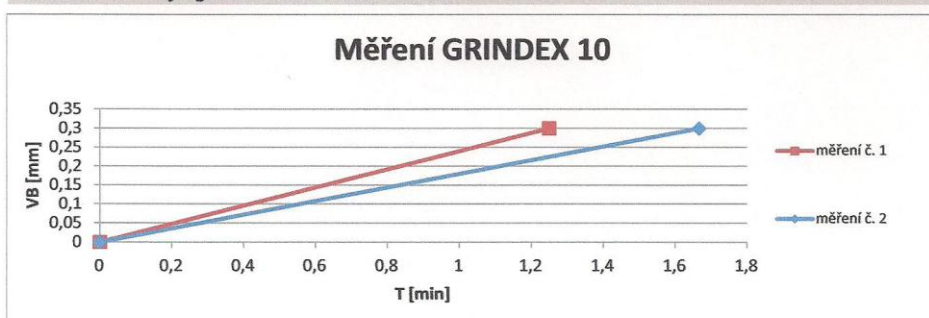
Naměřené hodnoty - tabulka

1			2		
L	T	VB	L	T	VB
[mm]	[min]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0	0
60	1,25	0,3	80	1,67	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost 1,46 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **CIMSTAR 620** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1,4
 velikost na refraktometru 3,6
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

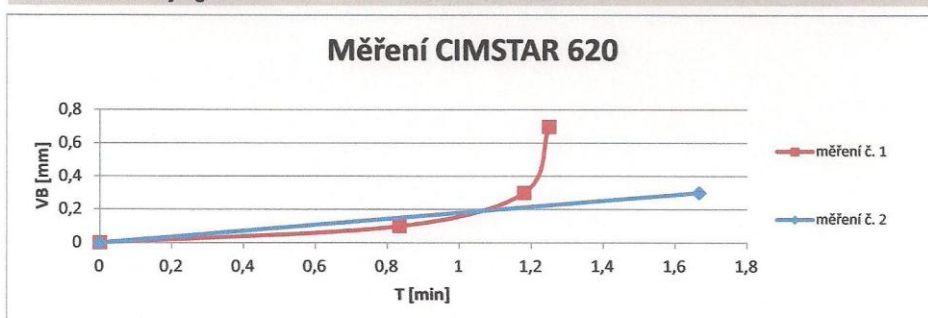
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
40	0,83	0,1
60	1,25	zničen vrták

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
80	1,67	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost 1,46 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

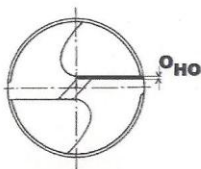
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **PARAMO 1030** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1,1
 velikost na refraktometru 4,5
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



1



2



Naměřené hodnoty - tabulka

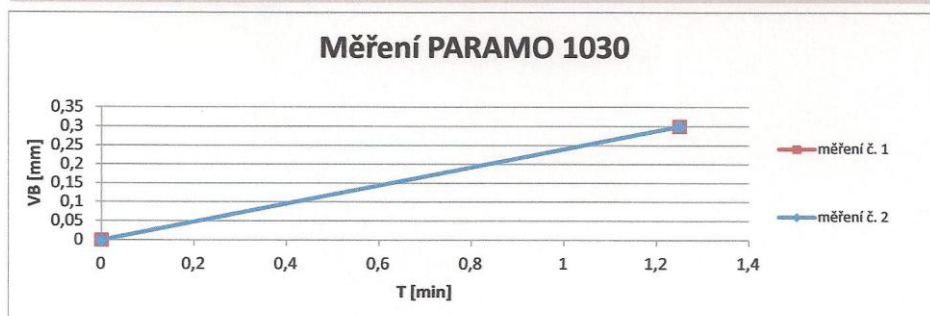
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
60	1,25	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
60	1,25	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

1,25 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **HOCUT 975 B** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1
 velikost na refraktometru 5
 kritérium opotřebení VB = 0,3 mm

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

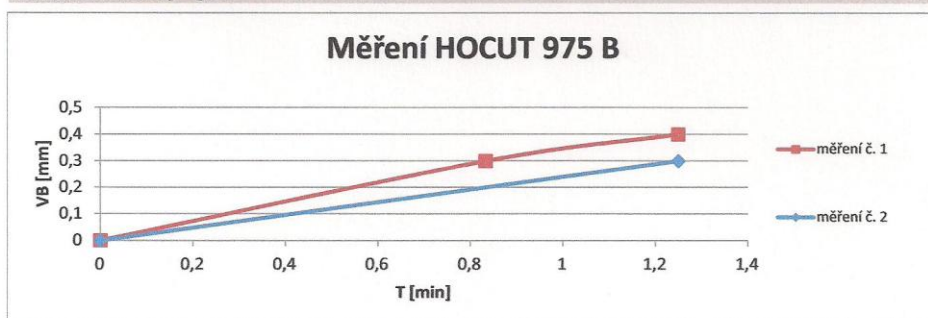
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
40	0,83	0,3
60	1,25	0,4

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
60	1,25	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

1,25 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

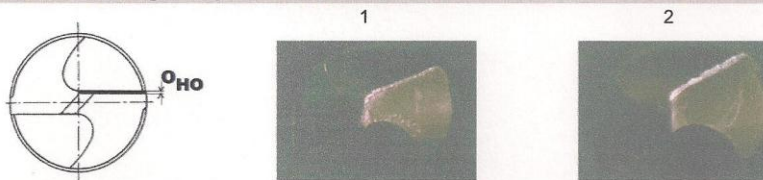
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **BLASOCUT 35 COMBI** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 1
 velikost na refraktometru 5
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



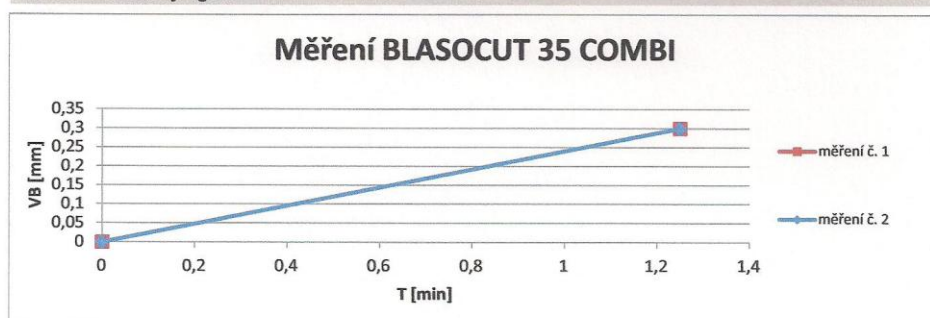
Naměřené hodnoty - tabulka

1			2		
L	T	VB	L	T	VB
[mm]	[min]	[mm]	[mm]	[min]	[min]
0	0	0	0	0	0
60	1,25	0,3	60	1,25	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost 1,25 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

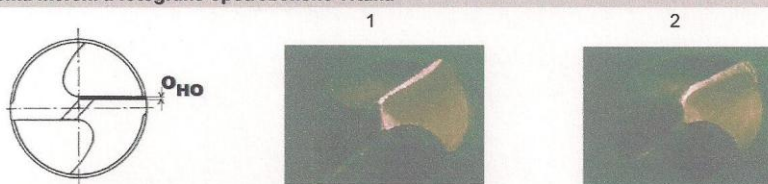
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **ESOK 1.0D** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 2,73
 velikost na refraktometru 1,8
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebovaného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

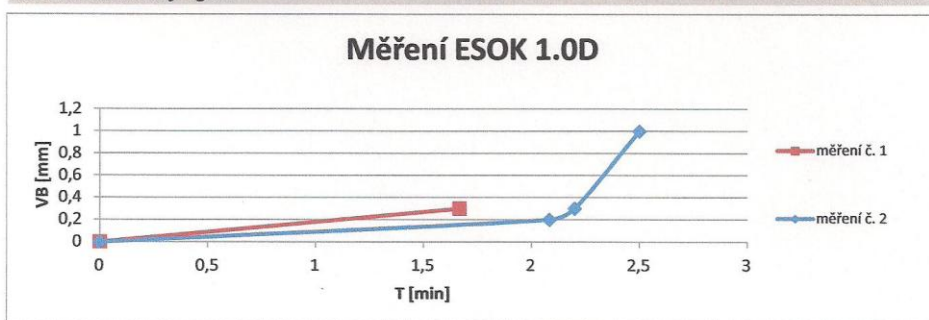
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
80	1,67	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,2
120	2,50	1
2,2		0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

2,08 min

Vliv procesních kapalin na proces vrtání - měření trvanlivosti - 2013

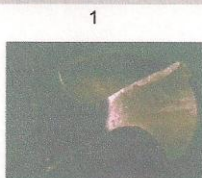
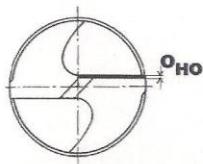
Měření trvanlivosti nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **ESOK 1.0E** datum měření: 24.4.2013
 - obráběný materiál: **ČSN 17 481** měření provedl: prof. Popov, Karásek

Podmínky měření

stroj Frézka FNG 32
 druh nože vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm
 druh a materiál VBD
 řezné podmínky $vc = 24,12 \text{ m/min}$; $f = 48 \text{ mm/min}$; $ap = 0,05 \text{ mm}$
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny 5%
 koeficient refrakce 3,1
 velikost na refraktometru 1,6
 kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$

Schéma měření a fotografie opotřebeného vrtáku



Naměřené hodnoty - tabulka

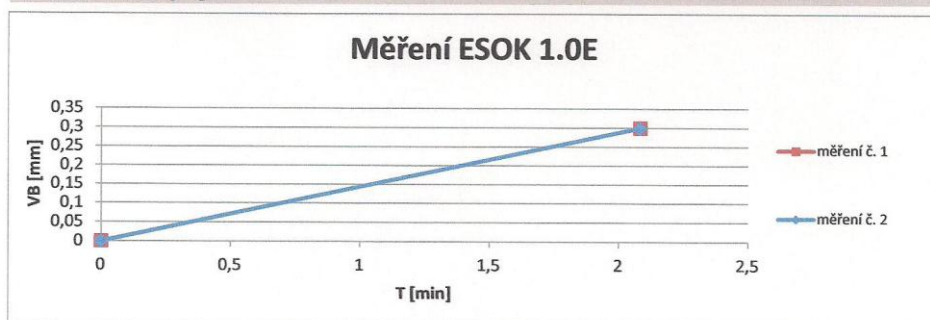
1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,3

2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
100	2,08	0,3

L dráha nástroje do místa měření

L dráha nástroje do místa měření

Naměřené hodnoty - graf



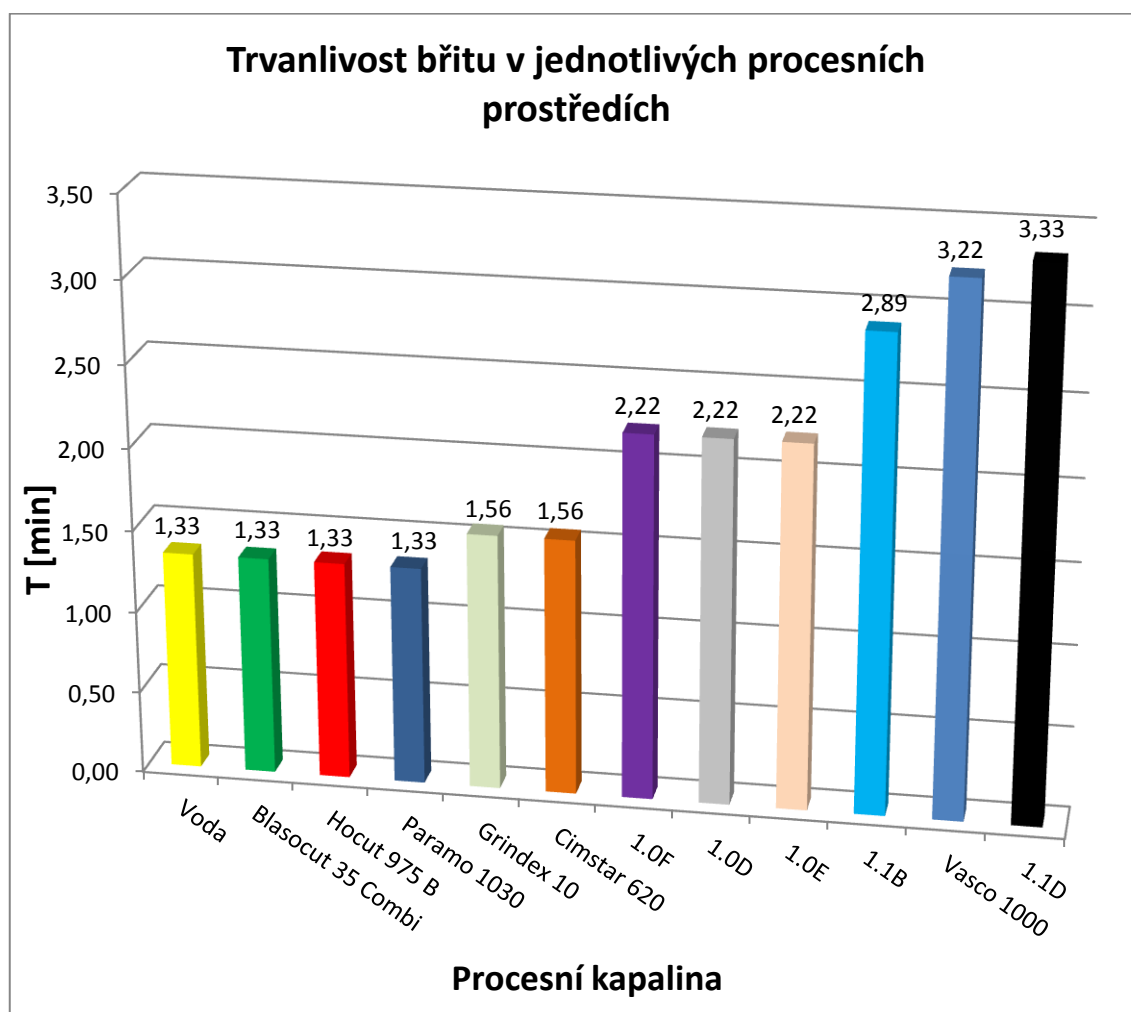
Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost 2,08 min

Hodnocení trvanlivosti nástroje

Kapalina	Trvanlivost [min]	Zlepšení v %
Voda	1,33	" - "
Blasocut 35 Combi	1,33	0
Hocut 975 B	1,33	0
Paramo 1030	1,33	0
Grindex 10	1,56	17
Cimstar 620	1,56	17
1.0F	2,22	42
1.0D	2,22	42
1.0E	2,22	42
1.1B	2,89	117
Vasco 1000	3,22	142
1.1D	3,33	150

Tab.6 Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení



Graf 2. Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí

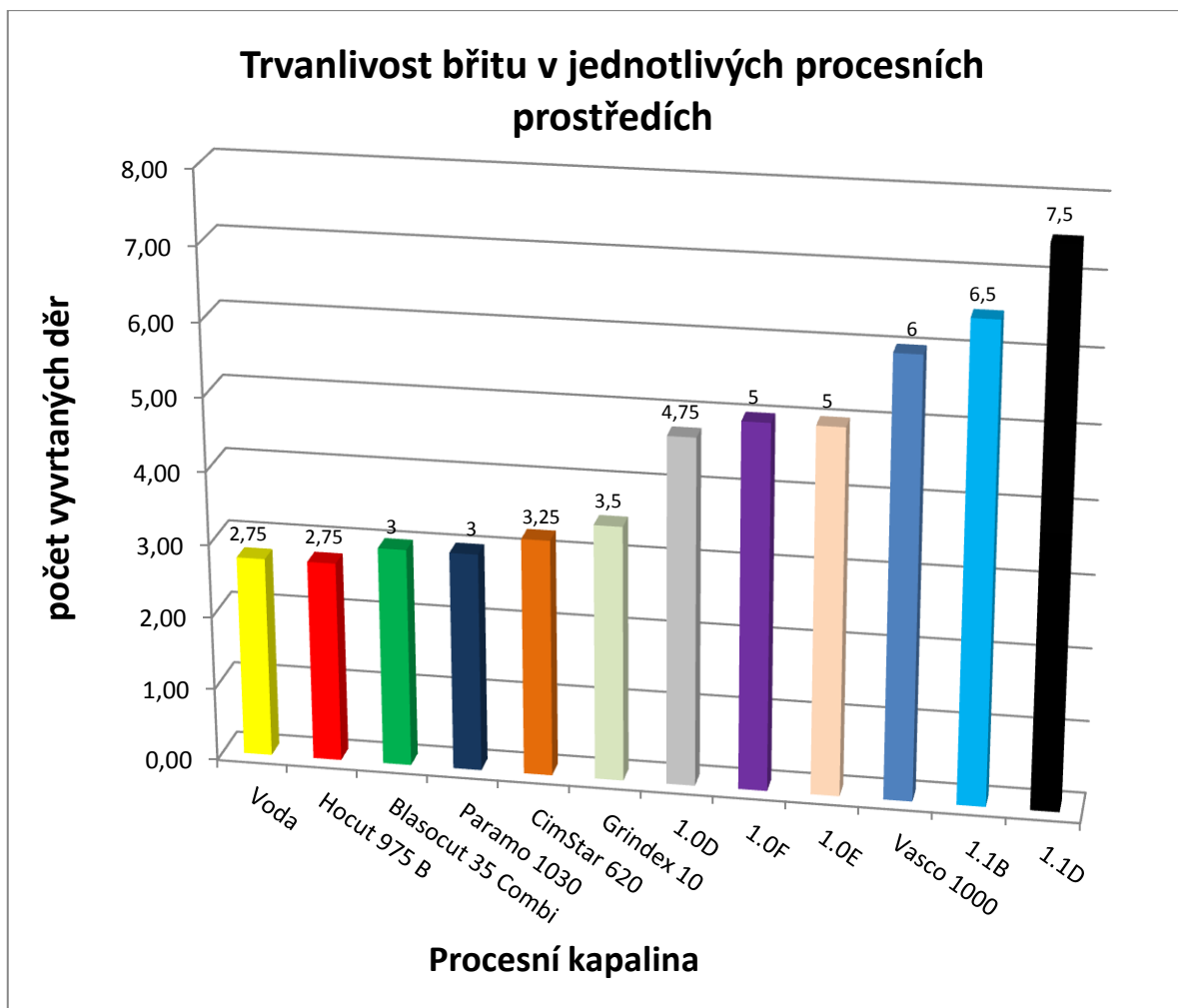
V tabulce 6 a grafu 2 jsou uvedeny střední hodnoty trvanlivost břítu nástroje v odpracovaných minutách při vrtání. Tabulka 6 uvádí navíc procentuální zlepšení trvanlivosti, které je vztažené k obrábění, kdy procesní kapalina byla voda.

U kapalin PARAMO 1030, HOCUT 975 B, BLASOCOUT 35 COMBI byla trvanlivost na stejné úrovni jako voda. Kapalina GRINDEX 10 a CIMSTAR 620 se zlepšení trvanlivosti projevilo minimálně a to konkrétně o 17 %. Další skupina byla vytvořena kapalinami PARAMO ESOK 1.0F, 1.0D, 1.0E, kdy zlepšení bylo o 42 %. Slušných výsledků dosáhli i kapaliny PARAMO ESOK 1.1B a VASCO 1000. Jako nejlepší procesní prostředí se ukázala kapalina PARAMO ESOK 1.1D se střední trvanlivostí 3,33 minuty a zlepšením o 150 %.

Hodnocení trvanlivosti nástroje z hlediska počtu vyvrtaných děr

Kapalina	Počet děr	Zlepšení v %
<i>Voda</i>	2,75	" - "
<i>Hocut 975 B</i>	2,75	0
<i>Blasocut 35 Combi</i>	3	9
<i>Paramo 1030</i>	3	9
<i>CimStar 620</i>	3,25	18
<i>Grindex 10</i>	3,5	27
<i>1.0D</i>	4,75	73
<i>1.0F</i>	5	82
<i>1.0E</i>	5	82
<i>Vasco 1000</i>	6	118
<i>1.1B</i>	6,5	136
<i>1.1D</i>	7,5	173

Tab.7 Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení

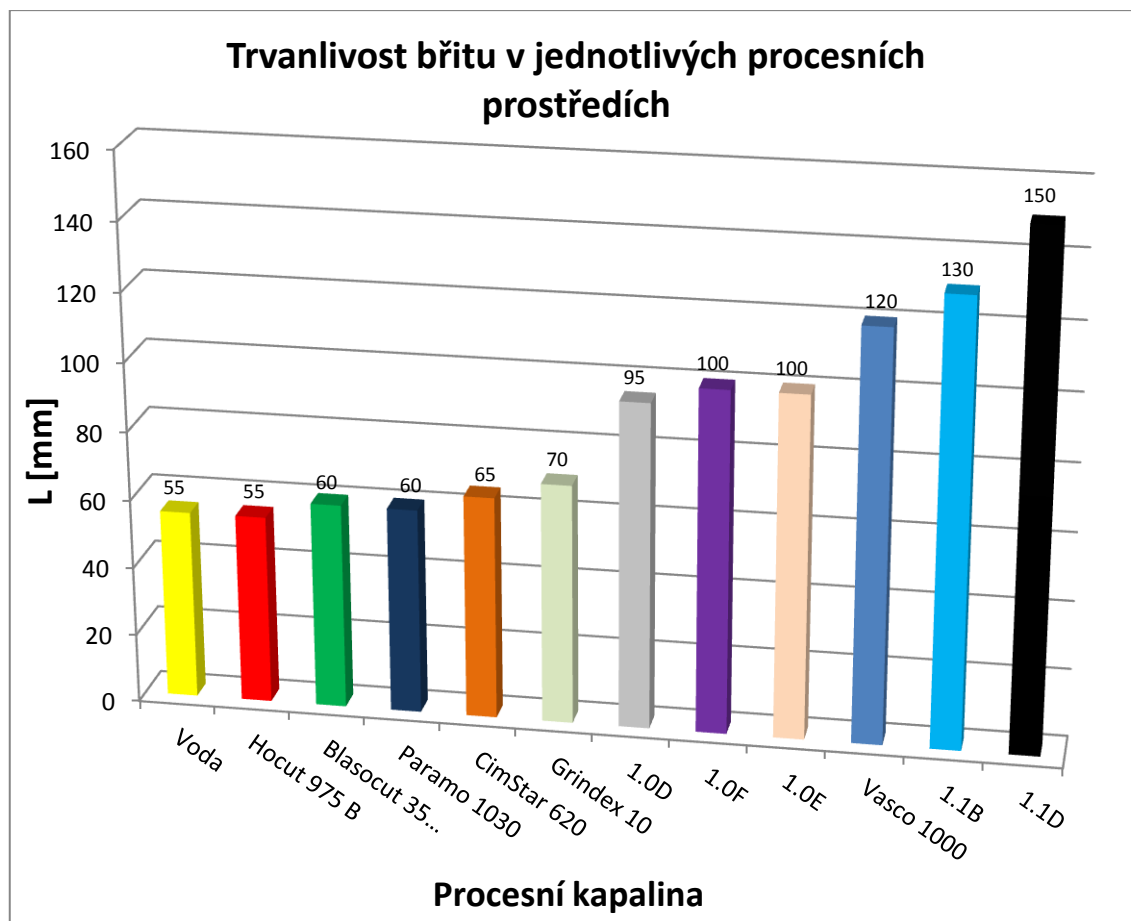


Graf 3. Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí

Hodnocení trvanlivosti nástroje z hlediska obrobené délky

Kapalina	Trvanlivost [mm]	Zlepšení v %
Voda	55	"-"
Hocut 975 B	55	0
Blasocut 35 Combi	60	9
Paramo 1030	60	9
CimStar 620	65	18
Grindex 10	70	27
1.0D	95	73
1.0F	100	82
1.0E	100	82
Vasco 1000	120	118
1.1B	130	136
1.1D	150	173

Tab.8 Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení



Graf 4. Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí

V tabulce 8 a grafu 4 jsou uvedeny střední hodnoty trvanlivost břitů nástroje v délce vyvrtaných děr. Tabulka 8 uvádí navíc procentuální zlepšení trvanlivosti, které je vztažené k obrábění, kdy procesní kapalina byla voda.

V tomto srovnání trvanlivosti se nám vytvořilo několik skupin, kdy kapalina HOCUT 975 B byla zcela na stejné úrovni jako voda. Další skupinou byly kapaliny, kde se zlepšení trvanlivosti projevilo minimálně a to v rozmezí 9 - 27 %. U kapalin PARAMO ESOK 1.0D, 1.0F a 1.0E bylo zlepšení o 73 – 82 %. PARAMO ESOK 1.1B A VASCO 1000 měli trvanlivost 120 a 130 mm a zlepšení ve srovnání s vodou o 118 % a 136 %. Nejlepší trvanlivosti bylo dosaženo opět pomocí kapaliny PARAMO ESOK 1.1D, kdy trvanlivost byla 150 mm a zlepšení o 173 %.

7.1 Určení tvaru třísky

Při vrtání nerezové oceli byla při každém experimentu vždy odebrána vzniklá tříška, u které se poté vyhodnocoval její tvar. Po vyhodnocení jsem došel k závěru, že procesní kapalina při hloubkovém vrtání 20 mm neměla žádný vliv na změnu tvaru třísky. Pokaždé vznikala stejná tříška, konkrétně kuželovitá krátká. Výsledky jsou k nahlédnutí v příloze č.5

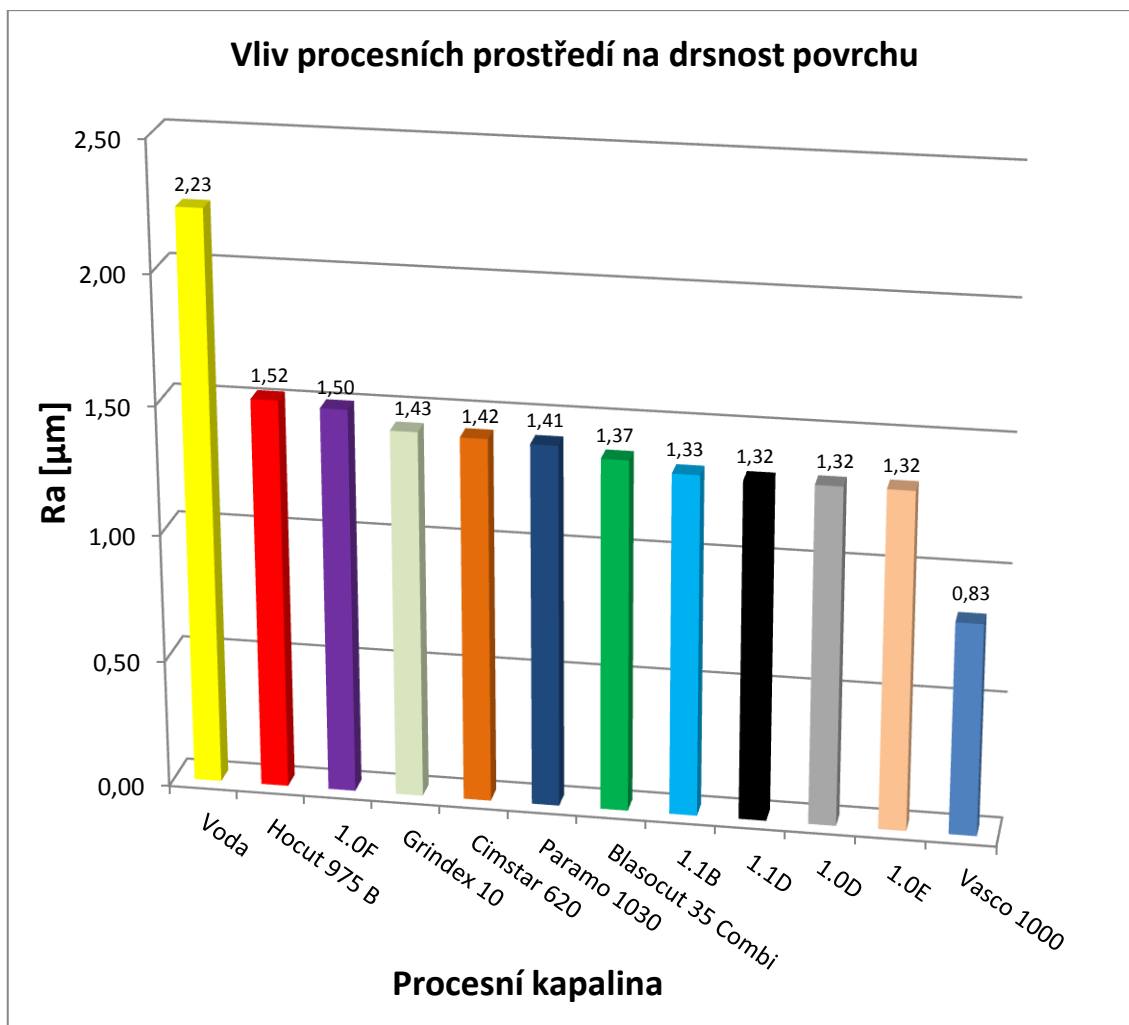
8 Zjištění vlivu PK od nejlepších světových výrobců na drsnost povrchu při vrtání nerezové oceli

Vyhodnocení drsnosti povrchu při použití různých kapalin od nejlepších světových výrobců je v následujících tabulkách a grafech. Hodnocení jsem provedl pomocí střední aritmetické odchylky R_a , výškovou charakteristikou R_z a nosného podílu profilu.

8.1 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu R_a

<i>Procesní kapalina</i>	<i>Průměrné hodnoty drsnost R_a [μm]</i>		<i>Zlepšení v %</i>
<i>Voda</i>	2,23	$\pm 0,46$	" - "
<i>Hocut 975 B</i>	1,52	$\pm 0,21$	47
<i>1.0F</i>	1,50	$\pm 0,42$	49
<i>Grindex 10</i>	1,43	$\pm 0,18$	56
<i>Cimstar 620</i>	1,42	$\pm 0,14$	57
<i>Paramo 1030</i>	1,41	$\pm 0,33$	58
<i>Blasocut 35 Combi</i>	1,37	$\pm 0,11$	63
<i>1.1B</i>	1,33	$\pm 0,42$	68
<i>1.1D</i>	1,32	$\pm 0,22$	69
<i>1.0D</i>	1,32	$\pm 0,26$	69
<i>1.0E</i>	1,32	$\pm 0,28$	69
<i>Vasco 1000</i>	0,83	$\pm 0,39$	169

Tab.9 Průměrné hodnoty drsnosti R_a



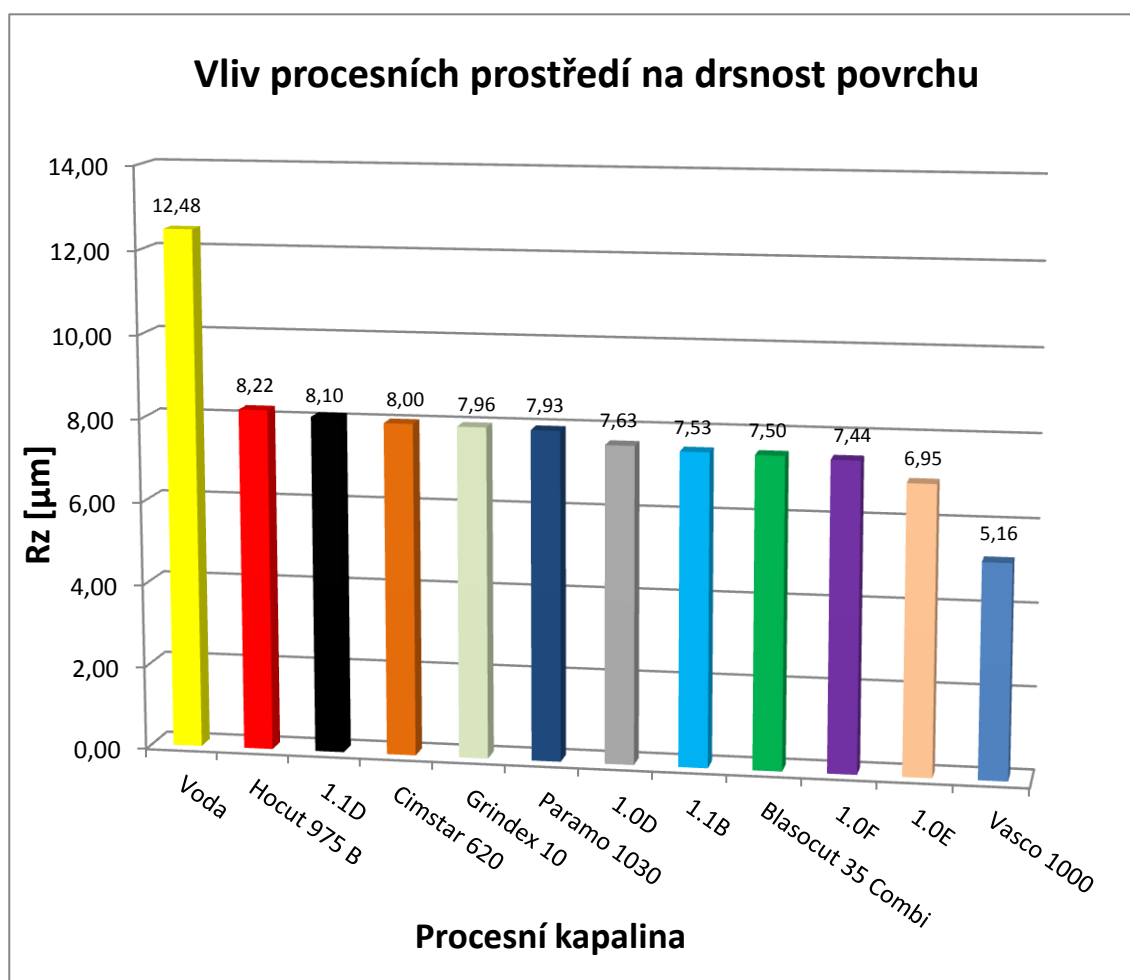
Graf 5. Průměrné hodnoty drsnosti Ra v jednotlivých prostředích

Nejlepších průměrných drsností Ra bylo dosaženo pomocí kapaliny VASCO 1000, kdy byly průměrné hodnoty drsnosti Ra = 0,83 μm a zlepšení ve srovnání s vodou o 169 %. Ostatní procesní kapaliny vytvořili skupinu, ve které se drsnost Ra pohybovala ve stejném rozmezí a to od 47–69 %. Nejhorší účinek na parametr drsnosti povrchu Ra bylo dosaženo při použití užitkové vody a to konkrétně 2,23 μm .

8.2 Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Rz

Procesní kapalina	Průměrné hodnoty drsnost Rz [μm]		Zlepšení v %
Voda	12,48	±2,92	" - "
Hocut 975 B	8,22	±0,89	52
1.1D	8,10	±1,82	54
Cimstar 620	8,00	±1,02	56
Grindex 10	7,96	±1,01	57
Paramo 1030	7,93	±1,67	57
1.0D	7,63	±1,49	64
1.1B	7,53	±2,23	66
Blasocut 35 Combi	7,50	±0,74	66
1.0F	7,44	±1,87	68
1.0E	6,95	±1,51	80
Vasco 1000	5,16	±2,00	142

Tab.10 Průměrné hodnoty drsnosti Rz



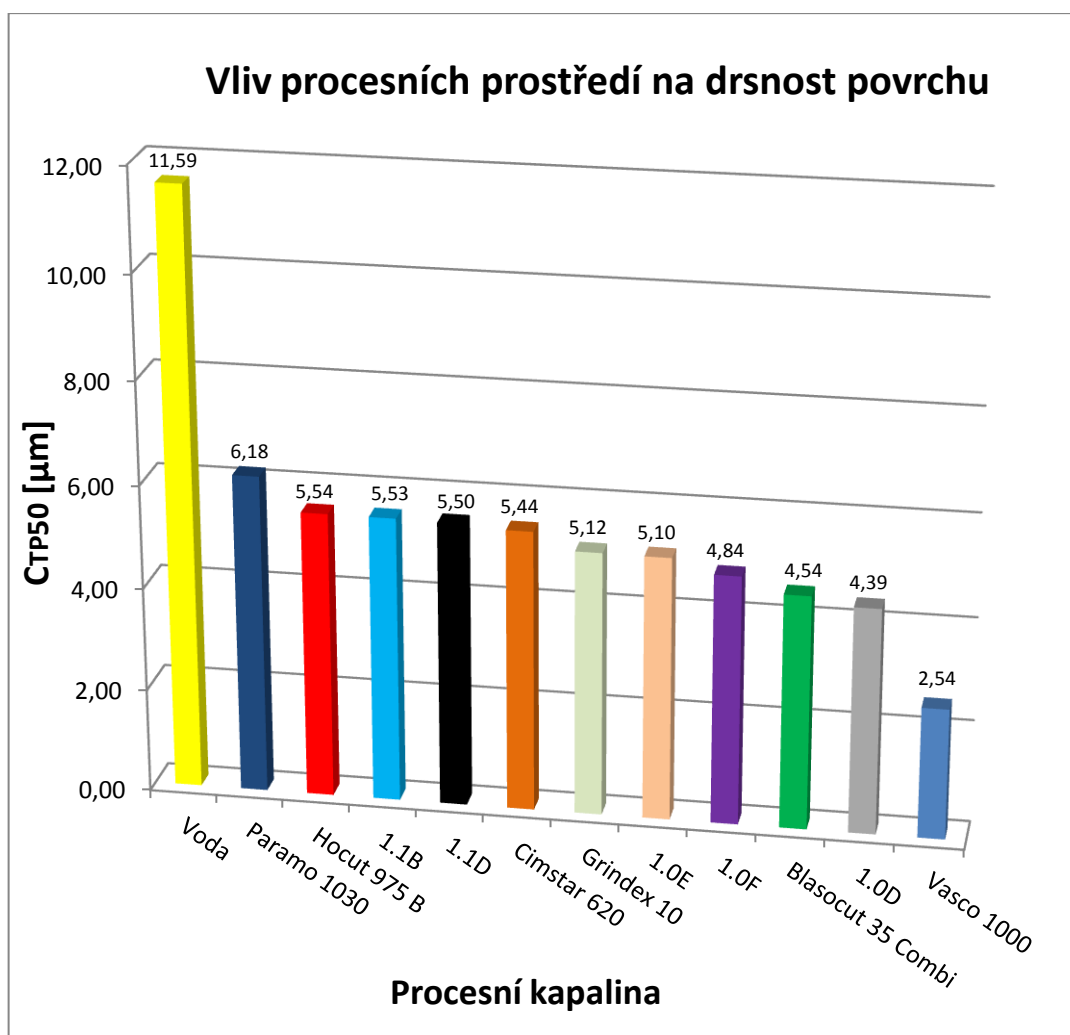
Graf 6. Průměrné hodnoty drsnosti Rz v jednotlivých prostředích

Nejlepších průměrných drsností R_z bylo dosaženo pomocí kapaliny VASCO 1000, kdy byly průměrné hodnoty drsnosti $R_z = 5,16 \mu\text{m}$ a zlepšení ve srovnání s vodou o 142 %. Ostatní procesní kapaliny vytvořili skupinu, ve které se drsnost R_z pohybovala ve stejném rozmezí a to od 52 do 80 %. Nejhorší účinek na parametr drsnosti povrchu R_z bylo dosaženo při použití užitkové vody a to konkrétně $12,48 \mu\text{m}$.

8.3 Vliv procesních kapalin na nosný podíl profilu

<i>Procesní kapalina</i>	<i>Průměrné hodnoty CTP50 [μm]</i>		<i>Zlepšení v %</i>
Voda	11,59	$\pm 3,41$	"-"
Paramo 1030	6,18	$\pm 2,42$	88
Hocut 975 B	5,54	$\pm 1,32$	109
1.1B	5,53	$\pm 1,17$	110
1.1D	5,50	$\pm 0,90$	111
Cimstar 620	5,44	$\pm 1,16$	113
Grindex 10	5,12	$\pm 1,35$	127
1.0E	5,11	$\pm 1,79$	127
1.0F	4,84	$\pm 1,56$	139
Blasocut 35 Combi	4,54	$\pm 0,96$	155
1.0D	4,39	$\pm 1,29$	164
Vasco 1000	2,54	$\pm 1,64$	356

Tab.11 Průměrné hodnoty nosného podílu



Graf 7. Průměrné hodnoty nosného podílu v jednotlivých prostředích

Nejlepších průměrných hodnot nosného podílu bylo opět dosaženo pomocí kapaliny VASCO 1000, kde byly průměrné hodnoty $CTP_{50} = 2,54 \mu m$ a zlepšení ve srovnání s vodou o 356 %. Ostatní procesní kapaliny vytvořily skupinu, kde se průměrné hodnoty nosného podílu pohybovaly v rozmezí od 87 do 164 %. Nejhorší účinek na parametr nosného podílu bylo dosaženo při použití užitkové vody a to konkrétně $11,59 \mu m$.

9 Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů

Diplomová práce byla zaměřena na testování procesních kapalin od nejlepších světových výrobců při vrtání nerezové oceli. Procesní kapaliny byly zkoušeny ze dvou hledisek, vliv procesní kapaliny na trvanlivosti hlavního ostří nástroje a vliv procesní kapaliny na kvalitu povrchu.

Pro tyto účely byla použita jako procesní kapalina voda a dalších jedenáct druhů kapalin na bázi vody. Od firmy PARAMO a.s. to byly tyto kapaliny: EOPS 1030, ESOK 1.0D, ESOK 1.1D, ESOK 1.1B, ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, další zkoumané kapaliny byly BLASER VASCO 1000, BLASER GRINDEX 10, HOUGHTON HOCUT 795 B, BLASOCUT BC 35 COMBI A CIMCOOL CIMSTAR 620.

Pro určení trvanlivosti nástroje byl za hlavní parametr určen čas obrábění do opotřebení hlavního ostří vrtáku 0,3 mm, dalším posuzujícím faktorem pro určení trvanlivosti byl počet vyvrtaných děr. Pro posouzení kvality povrchu byla za hlavní parametr určena drsnost povrchu R_a , R_z a nosný podíl profilu. Při procentuálních porovnání naměřených výsledků jsem použil za výchozí parametr vrtání, při kterém byla procesní kapalina voda.

Podle porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost hlavního ostří vrtáku při vrtání nerezové oceli vyplývá, že nejlepších hodnot bylo dosaženo při použití kapaliny PARAMO ESOK 1.1D v porovnání s vrtání za pomoci vody se zvětšila trvanlivost o 150 %. Slušných výsledků trvanlivosti dosáhli i kapaliny VASCO 1000 a ESOK 1.1B, které nám dovolují zvýšit trvanlivost o 117 – 142 %. Při použití ESOK 1.0F, 1.0D, 1.0E můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti 42 %. Kapaliny GRINDEX 10 a CIMSTAR 620 se zlepšení trvanlivosti projevilo minimálně a to konkrétně o 17 %. U kapalin PARAMO 1030, HOCUT 975 B, BLASOCOUT 35 COMBI nám vyšla přibližně stejná trvanlivost jako u vody.

Z průměrných vlivů různých prostředí na průměrnou drsnost povrchu R_a při vrtání nerezové oceli vyplývá, že nejlepších hodnot bylo dosaženo pomocí kapaliny VASCO 1000, kdy $R_a = 0,83 \mu\text{m}$ zlepšení ve srovnání s vodou bylo o 169 %. Všechny ostatní zkoumané procesní kapaliny byly zhruba na stejné úrovni v rozmezí 47– 69 %.

Při zkoumání vlivu různých prostředí na průměrnou drsnost povrchu R_z vyšlo, že nejlepších parametrů opět bylo dosaženo za pomoci kapaliny VASCO 1000, kdy $R_z = 5,16 \mu\text{m}$ zlepšení ve srovnání s vodou bylo o 142 %. Ostatní zbylé kapaliny, opět vytvořily skupinu, která se pohybovala v rozmezí od 52 – 80 %.

Z pohledu zvýšení nosného podílu profilu při použití všech zkoumaných procesních kapalin se opět nejlépe projevila kapalina VASCO 1000, kdy $CTP_{50} = 2,54 \mu\text{m}$ zlepšení ve srovnání s vodou bylo o 356 %. Ostatní PK vytvořily skupinu, kde se zlepšení pohybovalo od 87 – 164 %.

Z hlediska zkoumání tvaru třísky při vrtání nerezové oceli bylo zjištěno, že zkoumané PK neměly žádný vliv na změnu tvaru třísky, jelikož při všech experimentech vždy vznikala stejná tříska, konkrétně kuželovitá krátká.

Po všech provedených zkouškách v laboratořích KOM FS TUL bych doporučil pro vrtání nerezové ocele do praxe tyto tři procesní kapaliny. První by byla **BLASER VASCO 1000**, která dosahovala jednoznačně nejlepších hodnot z hlediska hodnocení parametru drsnosti se zlepšením o **169 %** a trvanlivost nástroje prodloužila o **142%**, dále **PARAMO ESOK 1.1D**, která dosahovala nejlepších hodnot trvanlivosti, konkrétně zlepšila trvanlivost o **150 %** a parametr drsnosti o **69 %**, třetí doporučenou PK je **PARAMO ESOK 1.1B**, která zlepšila parametr drsnosti o **68 %** a trvanlivost o **117 %**.

Seznam použité literatury

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] MÁDL, Jan; BILÍK, Oldřich; BUMBÁLEK, Bohumil, aj. *Ekologie obrábění*. Ústí nad Labem : UJEP Ústí nad Labem, 2000. 98 s. Knihovnička Strojírenská technologie, sv. 1. ISBN 80-7044-328-6
- [3] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: Obrábění*. 3.,přepřac. a dopl. vyd. Brno : CERM, 2004. 227 s.
- [4] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip.
- [5] MANG, T; DRESEL, W. *Lubricant and lubrication*. 2007. Weinheim : Wiley-vch, January 2007. 848 s. ISBN 978-3-527-31497-3.
- [6] KOCMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek: Svazek 7. Obrábění*. Praha: Dashöfer, 2001. ISBN 80-902247-2-5
- [7] VARADARAJAN, A.S.; PHILIP, P.K. ; RAMAMOORTHY, B. Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2002, 42, s. 193-200.
- [8] MÁDL, J. *Vliv řezných kapalin na obráběcí proces a metodika jejich testování* In: Reotrib 2000. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000, s. 93-102. ISBN 80-7080-381-9.
- [9] BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1963. 136 s.
- [10] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, Odborný časopis. [online]. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/stredove-chlazení-nastroju.html>

- [11] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ, F. *Studium integrity broušeného povrchu* [online]. Výrobné inžinierstvo, ISSN 1335-7972. Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešove. 2008/5. Dostupné na:
<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf08/2-str-11-13.pdf>

- [12] DRSNOST POVRCHU, [online]. Dostupné na:
<http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>

- [13] KLETEČKA, Jaroslav; FOŘT, Petr. Technické kreslení : *Učebnice pro střední průmyslové školy*. 1. vydání. Brno : Computer press, 1999. 193 s. ISBN 80-7226-192-4.

- [14] DRÁB, V., aj. *Technologie I.* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: VŠST Liberec, 1985. Dostupné na:
http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf.

- [15] Skripta VSB, Technologie II. Dostupné na:
http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf

- [16] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting-A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4

- [17] SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Technická příručka*. [online]. Dostupné na:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/Pages/default.aspx.

- [18] TOS Olomouc s.r.o. *frézka FNG 32* [online] Dostupné na:
<http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>

- [19] Pásové pily. [online] Dostupné na:
<http://www.pasove-pily.eu/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-300-27475.html>

- [20] STRYAL, J., JERSÁK, J. Vliv procesního média na vlastnosti čelně frézovaných strojních součástí. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Lukovics, doc. Mrkvica. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 39 - 44. ISSN 1211-4162.

- [21] JERSÁK, J., REJZEK, M. Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Vasilko, prof. Holešovský. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 17 - 23. ISSN 1211-4162.
- [22] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. Vyd. Úvaly: Albra, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [23] MITUTOYO. *Přístroje na měření povrchu a tvaru*. [online]. Dostupné na: <http://www.mitutoyo-czech.cz/sk/pdf/350-369.pdf>
- [24] BRHLÍK, D., NOVOTNÁ, E. *Evropské normy pro značení ocelí*. [online]. Dostupné na: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/928/EVROPSK%C3%89%20NORMY%20PRO%20ZNA%C4%8CEN%C3%8D%20OCEL%C3%8D.pdf?sequence=1>
- [25] Rozdělení a označení ocelí. [online] Dostupné na: <http://www.ateam.ic.cz/folie.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Tepelná bilance při obrábění.....	13
Obr. 2 – Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek.....	14
Obr. 3 – Vliv procesních kapalin na tvar třísky.....	16
Obr. 4 – Rozdělení procesních kapalin.....	18
Obr. 5 – Přívod procesní kapaliny do místa řezu varianty uspořádání pro ortogonální řezání.....	22
Obr. 6 – Aplikace vrtání s vnitřním chlazením.....	24
Obr. 7 – Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech.....	27
Obr. 8 – Zlogaritmovaný diagram $T - v_c$	28
Obr. 9 – Hlavní mechanismy opotřebení břitů nástrojů.....	29
Obr. 10 – Abrazivní opotřebení břitu nástroje.....	30
Obr. 11 – Difuzní opotřebení břitu nástroje.....	30
Obr. 12 – Adhezní opotřebení břitu nástroje.....	31
Obr. 13 – Oxidační opotřebení břitu nástroje.....	31
Obr. 14 – Opotřebení břitu nástroje lomem.....	32
Obr. 15 – Komplexní pohled na strojní součást.....	34
Obr. 16 – Určení střední aritmetické úchylky profilu R_a	35
Obr. 17 – Parametry R_v, R_p, R_z	37
Obr. 18 – Parametr RS_m	38
Obr. 19 – Parametr $R\Delta_q$	39
Obr. 20 – Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N	42
Obr. 21 – Refraktometr Optech Brix	43
Obr. 22 – Nástrojová lupa Brinell	43
Obr. 23 – Mikroskop Arsenal SZP 3112-T.....	44
Obr. 24 – Nástrojová frézka FNG 32	46
Obr. 25 – Pásová pila na kov	47

Obr. 26 – Čerpací jednotka a nádrž s PK	47
Obr. 27 – Polotovár z nerezové oceli	48
Obr. 28 – Řezání na pásové pile Pilous	48
Obr. 29 – Zkušební vzorek	48
Obr. 30 – Upevnění vzorku ve svěráku	50
Obr. 31 – Průběh snímání drsnosti povrchu.....	52
Obr. 32 – Datové a grafické výsledky měření	53

Seznam tabulek a grafu

Tab. 1 – Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění.....	21
Graf 1 – Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti pro různé teploty procesní kapaliny.....	23
Tab. 2 – Doporučené hodnoty základní délky l.....	36
Tab. 3 – Praktická řada hodnot parametru R_a	36
Tab. 4 – Hodnoty drsnosti dosažení jednotlivými druhy výroby.....	37
Tab. 5 – Přehled technických údajů frézky FNG 32.....	45
Tab.6 – Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení	66
Graf 2 – Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí	66
Tab.7 – Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení	67
Graf 3 – Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí.....	68
Tab.8 – Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení	68
Graf 4 – Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí.....	69
Graf 5 – Průměrné hodnoty drsnosti R_a v jednotlivých prostředích.....	70
Tab.9 – Průměrné hodnoty drsnosti R_a	70
Tab.10 – Průměrné hodnoty drsnosti R_z	72
Graf 6 – Průměrné hodnoty drsnosti R_z v jednotlivých prostředích.....	72
Tab.11 – Průměrné hodnoty nosného podílu.....	73
Graf 7 – Průměrné hodnoty nosného podílu v jednotlivých prostředích	74

Seznam použitých zkratek a symbolů

<i>Zkratka / Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
a_p	[mm]	hloubka řezu
C_T	[-]	konstanta Taylorova vztahu
C_V	[-]	konstanta Taylorova vztahu
f	[mm/min]	posuv stolu
f_n	[mm]	posuv na otáčku
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
l	[mm]	měřená délka obrábění
l_n	[mm]	vyhodnocovaná délka
k	[%]	koncentrace PK
m_T	[-]	exponent Taylorova vztahu
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
n_i	[-]	refrakční index
R_a	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
R_p	[μm]	největší výška výstupku
R_q	[μm]	průměrná kvadratická úchylka profilu
R_v	[μm]	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	[μm]	největší výška profilu
T	[min]	trvanlivost břitu
v_c	[m/min]	řezná rychlost
VB	[mm]	velikost opotřebení na hřbetu
C_{tp50}	[μm]	hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže

TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
PK	[-]	procesní kapalina
atd.	[-]	a tak dále
např.	[-]	například
tzv.	[-]	takzvaná
apod.	[-]	a podobně
mm	[-]	milimetr
Ø	[-]	průměr
kg	[-]	kilogram
%	[-]	procento
µm	[-]	mikrometr
°C	[-]	stupeň Celsia
min	[-]	minuta
MPa	[-]	megapascal

Seznam příloh:

Příloha 1: Parametry a charakteristika nástrojařské frézky FNG 32

Příloha 2: Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2

Příloha 3: Charakteristika a značení oceli třídy 17

Příloha 4: Formuláře k měřené drsnosti povrchu

Příloha 5: Určení druhu odebrané třísky

Příloha 6: Vliv procesních kapalin na proces vrtání – metodika hodnocení

Příloha 7: Trvanlivost nástroje při vrtání - metodika hodnocení

Příloha 1:

Parametry a charakteristika nástrojařské frézky FNG 32 ¹⁸





NÁSTROJAŘSKÁ FRÉZKA

FNG 32

Stroj FNG 32 je konvenční nástrojařská frézka, určená pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě, zejména v nářadovnách.

Stroj je dodáván s horizontálním vřetenem, uloženým ve smykadlovém vřeteníku. Dále je stroj vybaven vertikální hlavou s odklápěčem a pevným úhlovým stolem. Vertikální hlava je opatřena pinolou s ručním výsuvem, vřeteno lze naklápět v rozsahu $\pm 90^\circ$. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje v horizontálním i vertikálním vřetení.

Rozsah otáček vřetena je rozdělen do dvou stupňů s plynulou regulací s maximem 4000 ot/min a v kombinaci s plynulou regulací pracovních posuvů umožňuje hospodárné obrábění nejrůznějších druhů materiálů.

Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

Technologické možnosti stroje rozšiřuje použití zvláštního příslušenství.

PREDNOSTI:

- plynule stavitelné otáčky pomocí frekvenčního měniče ve dvou stupních
- vřeteno ve výsuvné pinole s hrubým a jemným výsuvem
- plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče
- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje v horizontálním i vertikálním vřetení
- kalené vodící plochy
- jednoduchá a komfortní obsluha, kompaktní uspořádání
- centrální mazání s dávkovači
- široké technologické možnosti
- vysoká tuhost, přesnost a spolehlivost
- snadná údržba
- moderní vzhled a dokonalá povrchová úprava speciálními olejvzdornými laky

TECHNICKÉ ÚDAJE

FNG 32

PROVEDENÍ STROJE

STŮL

Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400
Upínací drážky	– počet	7
	– šířka a rozteč	mm 14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg	350
Pracovní zdvih	– podélný (X)	mm 600
	– příčný (Y)	mm 400
	– svislý (Z)	mm 400
Posuvy	– počet stupňů	plynule
	– rozsah X, Y	mm/min. 15–1 000
	– rozsah Z	mm/min. 6–400
Rychloposuv	X, Y	mm/min. 2 000
	Z	mm/min. 800

HORIZONTÁLNÍ VŘETENO

Vzdálenost osy vřetene		
od plochy pevného stolu	mm	148–548
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Razení otáček		plynule

VERTIKÁLNÍ VŘETENO

Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	250–650
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Razení otáček		plynule
Natožení vřetena		± 90°
Výsuv pinoly	mm	80
Upínání nástroje		pneu-hydraulické

STROJ

Výkon hlavního motoru	kW	4,0
Výkon posuvového motoru	kW	1,1
Čekový příkon	kVA	22
Hmotnost	kg	2 500
Zastavěná plocha	mm	2 070 x 2 120
Výška	mm	2 115

Standardní provedení:

- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje
- pevný úhlový stůl o rozměrech 800 x 400 mm
- vertikální hlava s odklápěčem
- frekvenční měnič v pohonu vřetene
- hrubý a jemný výsuv pinoly
- strojní posuvy X, Y, Z (plynule stavitelné posuvy)
- ruční kola na osách X, Y a Z s odměřovacími číselníky s dělením 0,01 mm
- centrální mazání s dávkovači
- chlazení nástroje
- elektrovýzbroj pro napětí 3 x 400 V/50 Hz
- nátěr stroje – modrošedá barva odstín RAL 5010 / RAL 9002
- Osvětlení pracovního prostoru
- Kryt pracovního prostoru

Jiné provedení:

(nutno uvést v objednávce)

- stroj se stolem otočným a sklopným TU32N, upínací plocha Ø 600 x 400 mm
- stroj s ramenem a podpěrným ložiskem LFH32N
- kuličkové šrouby v osách X a Y
- kryt svislého vedení
- provedení pro palcovou odměřovací soustavu
- elektrická výzbroj pro hodnoty napětí jiné než 3 x 400 V/50 Hz
- jiný barevný odstín
- vybavení stroje číselnicovou indikací polohy

NORMÁLNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ:

Nádoba na třísky

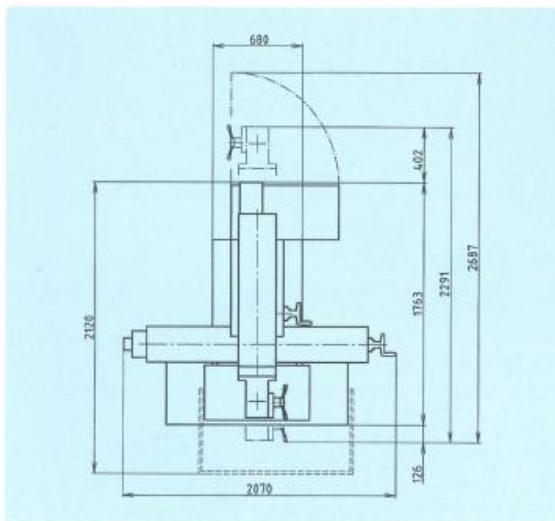
1 ks upínací koncovka 311 11 2328.00

Krátký frézovací trn 40 x 22 x 37

ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

(dodává se na zvláštní objednávku za příplatek)

Obrázcí hlava	IOB 32N
Dělicí přístroj jednoduchý	DJ 250A
Otočný stůl s dělicím zařízením	320
Strojní svěrák pevný	125
Točnice	125
Strojní svěrák otočný a sklopný	125
Strojní svěrák samostředící	125
Frézovací trny krátké	40 x 16 x 29
	40 x 22 x 19
	40 x 22 x 37
	40 x 27 x 47
	40 x 32 x 60
Frézovací trn dlouhý	40 x 22 x 500
(pro rameno s podpěrným ložiskem)	40 x 27 x 500
	40 x 32 x 500
	40 x 40 x 500
Redukční pouzdra	40 x 30
	40 x 2
	40 x 3
Vrtákové sklíčidlo tříčelistové	13-B12
Trn pro vrtákové sklíčidlo	B12 x 2
Upínací pouzdra se sadou vložek	40 x 16
	40 x 28



TOS Olomouc, s.r.o.
Tovární 1180/30, 779 00 Olomouc-Hodolany
tel.: +420 587 404 309
fax: +420 587 404 253
e-mail: prodej@tos-olomouc.cz
http: www.tos-olomouc.cz

Příloha 2:

Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2 ²³

Technické parametry

Zdvih doteku: 800 μm
Rozlišení: 0,0001 μm
Posuv (osa X): 50 mm
Nejmenší Cut-Off: 0,025 mm
Odchylka přímosti: 0,3 μm / 50 mm

55 parametrů

Ra, Rq, Ry, Rz, R3z, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, S, Sm, Pc, mr, A1, A2, Rv, R, Rx, W, Wx, Wte, mrd, HSC, AW, AR, Vo, Δa , Δq , Ku , δc , Lo, Sk, Rtj, R3zj, R3y, Rc, Rpmx, Rpi, Rvmx, plateau ratio, λa , λq , Lr, SR, SAR, NR, NCRX, CPM, SW, SAW, NW, Vo

Přístroj na měření drsnosti povrchu „Surftest SV-2000“

Špičková technologie s ponorem – pro náročnou kontrolu povrchu v měřicím středisku a laboratoři.

- Perfektní měření vztažných rovin při mobilním a stacionárním použití.



Surftest SV-2000

Model	Posuv	Přestavení výšky	Rozměr základní desky
SV-2000 N2	50 mm	opce	opce
SV-2000 S2	50 mm	300 mm motorické	610 x 450 mm

Příloha 3:

Charakteristika oceli třídy 17 ²⁵

Tyto oceli jsou vysokolegované, zejména chrómem, chrómem a niklem. Nejdůležitější z těchto ocelí jsou oceli korozivzdorné neboli „nerezavějící“ a oceli žáruvzdorné. Obsahují obvykle přes 12 % chrómu

Chromové korozivzdorné oceli se dle struktury dělí na tři skupiny:

- 1) martenzitické – kalitelné (12 – 18% Cr, 0,15 – 1% C) méně agresivní prostředí (nožířství, potravinářství, zdravotnictví)
- 2) poloferitické obsahují 6-18% Cr, asi 0,1%C popř. Si, Al ... méně agresivní prostředí (potravinářský průmysl).
- 3) feritické mají 20-26% Cr a malý obsah uhlíku. Jsou převážně žáruvzdorné.

Značení oceli třídy 17 ²⁴

2.3.4.Ocel třídy 17

- Třetí číslice charakterizuje způsob legování ocelí jednotlivými prvky nebo skupinou hlavních legujících prvků:

Tab.3 : Legující prvky [4]

Třetí číslice ve značce oceli třídy 17	Druh oceli podle typu legování – hlavní legující prvek legující prvek nebo skupina prvků
0	Cr
1	Cr a dalšími prvky jako např. Al, Mo, Ni
2	Cr-Ni
3	Cr-Ni a dalšími legovacími prvky (Mo,V, W)
4	Cr-Ni, Mn-Cr-Ni, popř. Mn-Cr-Mn-Cr-Ni
5	Ni popř.Ni a dalšími legovacími prvky
6	Mn
7	rezerva

- Čtvrtá číslice charakterizuje obsah hlavních legovacích prvků Cr, Mn, Ni v jednotlivých druzích ocelí podle typu legování

Tab. 4 : Význam čtvrté číslice - oceli legované Cr a dalšími legovanými prvky (s třetí číslicí 0,1,2 a 3) [4]

čtvrtá číslice ve značce oceli tř. 17	obsah Cr(%)			
	v ocelích legovaných Cr, Cr a dalšími legovacími prvky		v ocelích legovanými Cr-Ni, Cr-Ni a dalšími legovanými prvky	
	nad	do	nad	do
0	4	6	6	10
1	6	10	6	10
2,3	10	16	10	16
4,5	16	25	16	25
6,7	25	-	25	-
8,9	-	-	-	-

Tab. 5 : Význam čtvrté číslice - ocel legovaná Mn a dalšími prvky (s třetí číslicí 4 v základní číselné řadě) [4]

čtvrtá číslice ve značce oceli tř.17		obsah Mn (%)	
legovaných Mn-Cr, Mn-Cr-Ni	legovaných Mn-Cr, Mn a dalšími prvky	nad	do
0	5	6	10
1	6	6	10
2	7	10	16
3	8	16	25
4	9	25	-

Tab.6 : Význam čtvrté číslice - ocel legovaná Ni a dalšími prvky (s třetí číslicí 5 v základní řadě) [4]

čtvrtá číslice ve značce oceli tř.17		obsah Ni (%)	
legovaných Ni	legovaných Ni a dalšími prvky	nad	do
0	5	6	10
1	6	10	16
2	7	16	25
3	8	25	40
4	9	40	-

Tab.7 : Význam čtvrté číslice – ocel legovaná Ni (s třetí číslicí 6 v základní číselné řadě) [4]

čtvrtá číslice v základní značce ocelí	obsah Mn (%)		čtvrtá číslice v základní značce ocelí	obsah Mn (%)	
	nad	do		nad	do
0	6	10	3	16	25
1	6	10	4	25	-
2	10	16	5 až 9	rezerva	

- do této skupiny lze zařadit oceli : korozivzdorné a žáropevné chromové, chromniklové, chrommanganové
- vysoce legované oceli
- méně agresivní prostředí
- dobrá odolnost proti opalu v oxidující a uhlíčí atmosféře

Příloha 4:

Formuláře k měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu

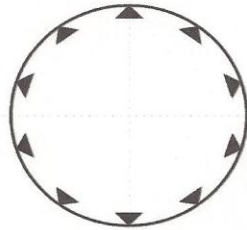
- procesní kapalina: Voda, Vasco 1000, 1.0F, 1.1D, 1.1B, Grindex 10, Cimstar 620,
Paramo 1030, Hocut 975 B, Blasocut 35 Combi, 1.0D, 1.0E

- obráběný materiál: ČSN 17 481

datum měření: 24.4.2013

měření provedl: Karásek

Místa měření



Fotografie vzorků



Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SV-2000.
Použité příslušenství: dotek č. 12AAB404 - standardní dotek

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

Voda		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	2,15	1,84	2,08	1,41	2,14	2,21	3,35	1,53	2,94	2,68	2,23	0,46
Rz	[μm]	10,53	9,09	12,84	7,40	12,20	11,57	19,74	9,22	14,80	17,41	12,48	2,92
CTP50	[μm]	8,55	9,45	11,82	5,12	14,21	12,12	12,76	8,05	17,54	17,45	11,59	3,41

Vasco 1000		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	0,52	0,45	0,55	0,49	0,91	1,70	0,75	1,82	0,75	0,34	0,83	0,39
Rz	[μm]	3,45	3,80	4,43	3,08	4,66	9,60	4,68	10,44	4,68	2,80	5,16	2,00
CTP50	[μm]	1,21	1,42	1,32	2,15	3,42	6,85	1,09	5,96	1,15	0,85	2,54	1,64

1.0F		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	0,73	1,11	1,10	2,06	2,28	1,20	2,20	1,93	1,26	1,14	1,50	0,42
Rz	[μm]	4,55	5,95	5,67	10,51	11,17	5,90	10,12	9,12	5,36	6,07	7,44	1,87
CTP50	[μm]	2,33	4,81	2,56	7,51	8,93	3,21	5,09	4,53	5,09	4,31	4,84	1,56

1.1D		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	1,32	0,70	1,27	1,11	1,31	1,57	1,73	1,41	1,55	1,23	1,32	0,22
Rz	[μm]	8,72	4,15	6,78	5,95	7,72	10,99	12,52	8,89	8,42	6,86	8,10	1,82
CTP50	[μm]	7,81	3,60	4,96	4,81	6,12	5,65	6,16	5,58	6,15	4,12	5,50	0,90

1.1B		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	1,32	1,28	0,32	2,02	1,12	1,45	2,01	1,36	0,58	1,82	1,33	0,42
Rz	[μm]	9,30	7,13	2,21	10,31	6,70	7,15	12,35	7,12	3,95	9,13	7,53	2,23
CTP50	[μm]	4,55	4,39	2,19	6,25	5,79	6,15	6,45	7,45	7,14	4,95	5,53	1,17

Grindex 10		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	1,19	1,20	1,37	1,86	1,80	1,23	1,38	1,48	1,51	1,26	1,43	0,18
Rz	[μm]	6,28	6,97	7,31	9,18	8,95	6,47	9,36	9,66	8,80	6,68	7,96	1,01
CTP50	[μm]	3,12	4,09	2,89	6,75	6,42	4,12	5,12	6,61	5,83	4,21	5,12	1,35

Cimstar 620		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	1,45	1,15	1,56	1,23	1,39	1,39	1,29	1,75	1,36	1,60	1,42	0,14
Rz	[μm]	8,79	6,58	8,21	7,00	6,93	6,93	7,14	10,81	9,31	8,30	8,00	1,02
CTP50	[μm]	5,12	4,62	6,81	3,82	7,62	7,86	4,39	5,96	3,56	4,65	5,44	1,16

Paramo 1030		Číslo měření										průměr (+,-)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra	[μm]	1,20	1,37	0,80	0,69	1,64	1,31	1,55	1,86	2,06	1,60	1,41	0,33
Rz	[μm]	6,48	7,76	6,47	4,03	8,48	7,00	8,26	9,20	12,37	9,28	7,93	1,67
CTP50	[μm]	4,12	5,72	6,29	4,12	3,48	4,09	3,73	6,65	13,10	10,46	6,18	2,42

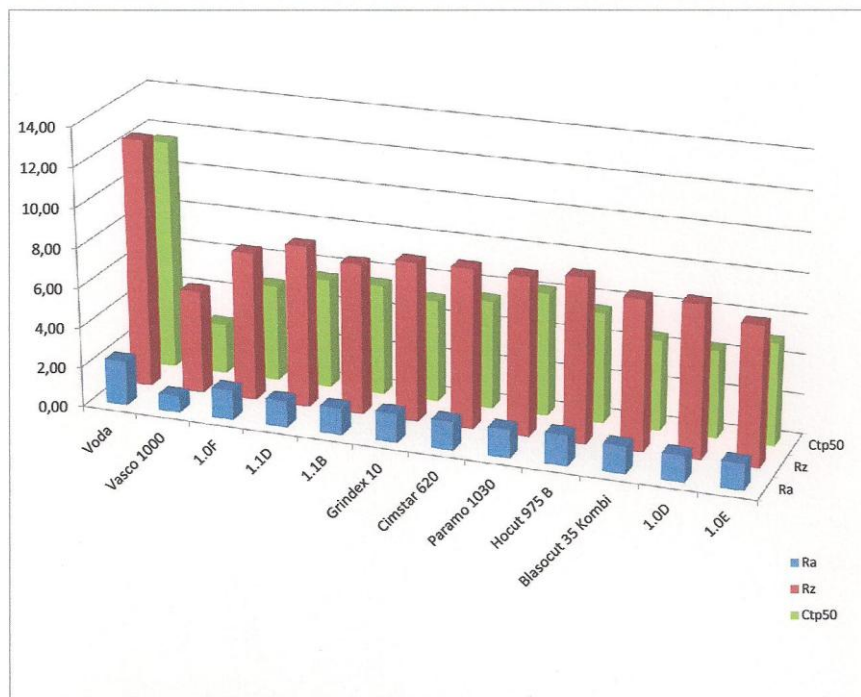
Hocut 975 B		Číslo měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra	[μm]	1,57	1,80	2,04	1,47	1,07	1,40	1,18	1,66	1,49	1,57	1,52	0,21
Rz	[μm]	7,95	8,29	10,12	8,24	6,27	6,77	7,44	9,41	8,80	8,96	8,22	0,89
CTP50	[μm]	5,35	6,42	7,93	6,51	3,15	4,31	3,34	7,13	7,26	3,96	5,54	1,32

Blasocut 35 Kombi		Číslo měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr (+,-)	
Ra	[μm]	1,28	1,57	1,41	1,37	1,23	1,54	1,09	1,36	1,43	1,46	1,37	0,11
Rz	[μm]	7,91	8,31	6,89	6,89	6,08	7,52	6,28	7,60	9,19	8,32	7,50	0,74
CTP50	[μm]	6,32	6,39	6,05	4,83	3,15	3,42	3,35	4,05	3,62	4,26	4,54	0,96

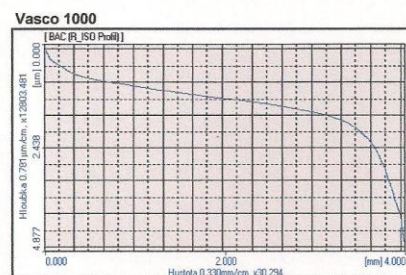
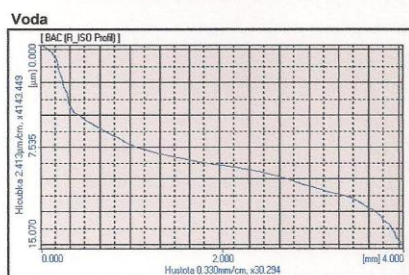
1.0D		Číslo měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr (+,-)	
Ra	[μm]	1,91	1,51	1,62	1,23	0,87	0,94	1,08	1,56	1,49	0,96	1,32	0,26
Rz	[μm]	11,29	8,06	8,90	6,86	5,14	6,06	6,47	8,60	9,51	5,43	7,63	1,49
CTP50	[μm]	5,09	5,29	8,53	4,12	2,39	3,21	3,31	3,96	4,62	3,35	4,39	1,29

1.0E		Číslo měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra	[μm]	1,05	0,94	1,62	0,75	1,37	1,85	1,30	1,09	1,50	1,78	1,32	0,28
Rz	[μm]	5,83	5,13	8,27	4,18	8,86	9,93	6,24	5,49	7,43	10,13	6,95	1,51
CTP50	[μm]	2,93	2,82	8,09	3,43	4,12	6,21	5,31	2,42	6,41	9,31	5,11	1,79

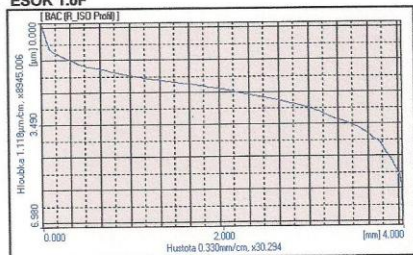
Naměřené hodnoty - graf



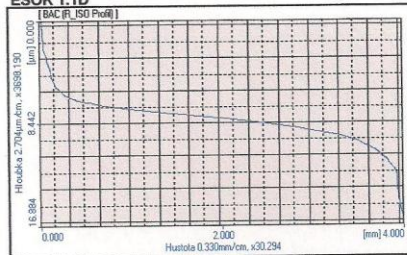
Vzorové křivky materiálového podílu



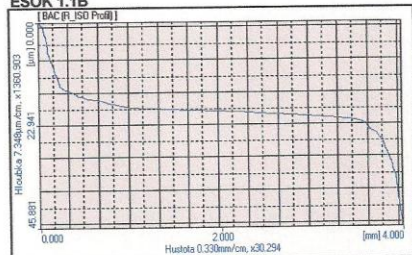
ESOK 1.0F



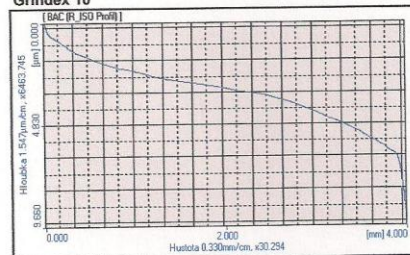
ESOK 1.1D



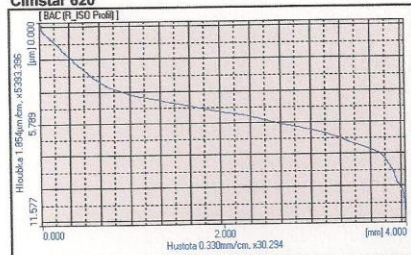
ESOK 1.1B



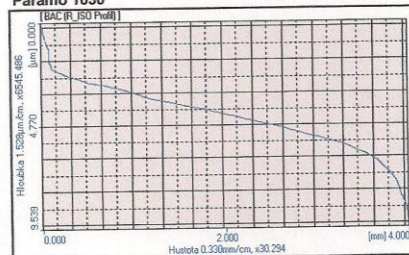
Grindex 10



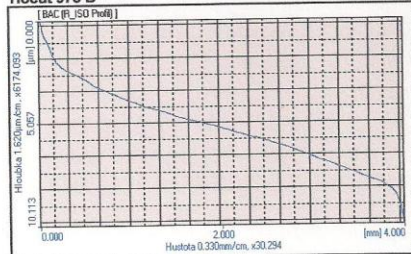
Cimstar 620



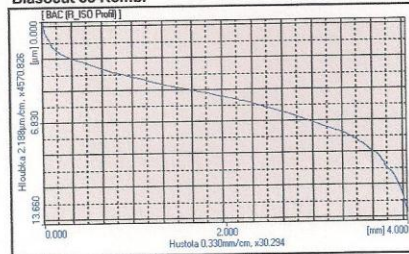
Paramo 1030

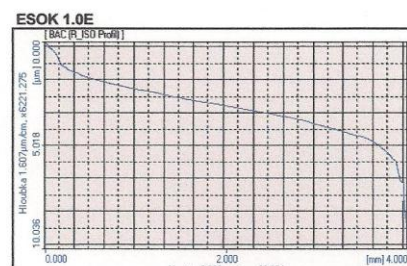
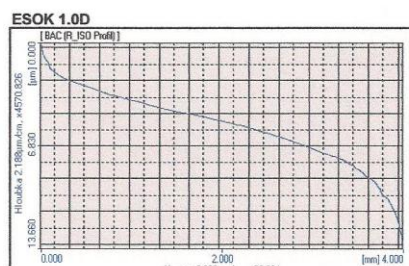


Hocut 975 B



Blasocut 35 Kombi

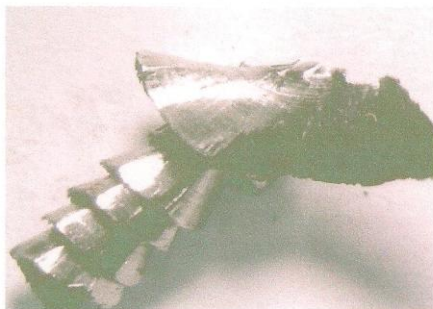




Příloha 5:

Určení druhu odebrané třísky

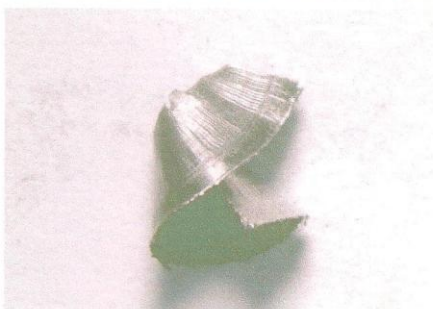
Fotografie třísky při vrtní s přívodem vody



Fotografie třísky při vrtní s přívodem kapaliny Vasco 1000



Fotografie třísky při vrtní s přívodem kapaliny 1.0F



Fotografie třísky při vrtní s přívodem kapaliny 1.1D



Fotografie třísky při vrtní s přívodem kapaliny 1.1B



Fotografie třísky při vrtní s přívodem kapaliny Grindex 10



Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny Gimstar 620



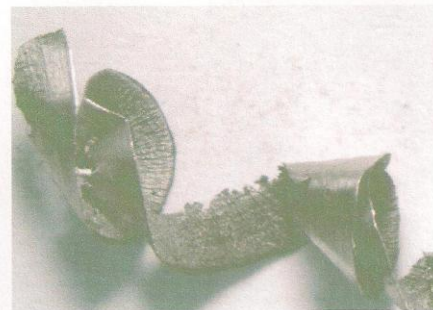
Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny Paramo 1030



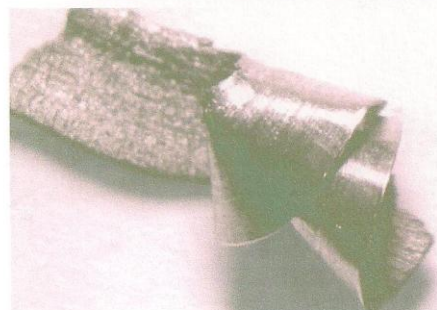
Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny Hocut 975 B



Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny Blasocut 35 Combi



Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny 1.0D



Fotografie trisky při vrtání s přívodem kapaliny 1.0E



Zjištěné údaje o druhu odebrané třísky - tabulka

Vrtání	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
Voda	Kuželovité krátké
Vasco 1000	Kuželovité krátké
Grundex 10	Kuželovité krátké
Cimstar 620	Kuželovité krátké
Hocut 975 B	Kuželovité krátké
Blasocut 35 Combi	Kuželovité krátké

Vrtání	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
Paramo 1030	Kuželovité krátké
ESOK 1.0F	Kuželovité krátké
ESOK 1.1D	Kuželovité krátké
ESOK 1.1B	Kuželovité krátké
ESOK 1.0D	Kuželovité krátké
ESOK 1.0E	Kuželovité krátké

1. Stuhlé třísky	2. Vinuté třísky	3. Spirálové třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité šroubovitě třísky	6. Obloukovité třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé	2.1. Dlouhé	3.1. Ploché	4.1. Dlouhé	5.1. Dlouhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátké	2.2. Krátké	3.2. Kuželovité	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Podmínky měření

Fotografie třísek byly pořízeny v laboratořích KOM pomocí mikroskopu Arsenal SZP 3112-T

VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES VRTÁNÍ

- metodika hodnocení

1. Charakteristika podmínek experimentu

- podmínky experimentu shrnuje tab. 1.

Místo měření	laboratoř třískových technologií LTT, TU v Liberci, budova L
Stroj	frézka FNG 32
Obráběný materiál	ocel ČSN 17 481 - rozměr zkušebního vzorku: 40 x 35 mm, výška 20 mm
Nástroj	- vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 z rychlořezné oceli
Způsob obrábění	- vrtání
Řezné prostředí	- procesní kapaliny firmy PARAMO: - ESOK 1.0D – koncentrace 5 %, - ESOK 1.1D – koncentrace 5 %, - ESOK 1.1B – koncentrace 5 %, - ESOK 1.0E – koncentrace 5 %, - ESOK 1.0F – koncentrace 5 %, - EOPS 1030 – koncentrace 5 % - procesní kapaliny od světových výrobců: - Blaser Vasco 1000 – koncentrace 5 %, - Blaser Grindex 10 – koncentrace 5 %, - Houghton HOCUT 795-B – koncentrace 5 %, - Blasocut BC 35 Combi – koncentrace 5 %,

	<ul style="list-style-type: none"> - Cimcool Cimstar 620 – koncentrace 5 % - voda (užitková voda z vodovodního řadu o teplotě cca 18°C) <p>Pozn.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - procesní kapalina byla do místa řezu přivedena pomocí modulárního systému LOC - LINE
Řezná rychlost	24,12 [m.min ⁻¹]
Posuv na otáčku	0,05 [mm.ot ⁻¹]
Průměr vrtáku	8,0 [mm]
Opakování měření	- 2x pro měřenou veličinu
Měřené veličiny	- hodnota šířky opotřebení hlavního ostří vrtáku O _{HO}
Měřicí přístroje	<ul style="list-style-type: none"> - nástrojová lupa BRINELL (měření velikosti opotřebení) - refraktometr BRIX 0 – 18 % ATC (měření koncentrace)

Tab. 1 Podmínky vrtání nerezové oceli

2. Charakteristika měření

Experimenty vrtání budou realizovány na konvenční frézce FNG 32 (obr. 1). Zkoušky budou vždy prováděny na jednom kusu obrobku. Pro zkoušky obrábění nerezové oceli bude použit obrobek z materiálu ČSN 17 481. Při zkouškách trvanlivosti bude jako kritérium zvolena hodnota délky opotřebení hlavního ostří vrtáku $O_{HO} = 3 \text{ mm}$. Měření opotřebení bude provedeno podle metodiky TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ. Veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje budou provedeny za konstantních řezných podmínek a dvakrát zopakovány podle metodiky pro určování TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ, poté budou výsledné naměřené hodnoty statisticky zpracovány.

Koncentrace procesních kapalin bude kontrolována pomocí ručního refraktometru Brix 0 – 18 % ATC (obr. 2).



Obr. 1 Frézka FNG 32

3. Charakteristika postupu hodnocení

Vrtání nerezové oceli s použitím konkrétní procesní kapaliny/média bude zopakováno 2x. Při každém experimentu bude zjišťována trvanlivost nástroje (podle metodiky TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ). Trvanlivost pro danou kapalinu/médium bude stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny/média budou dále mezi sebou porovnány a procesní kapalina, při které bude dosažena největší průměrná trvanlivost, bude vyhodnocena jako nejlepší.



Obr. 2 Refraktometr Brix 0 – 18 % ATC

TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ

- metodika hodnocení

1. Charakteristika podmínek experimentu

- veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje budou provedeny za konstantních podmínek experimentu podle metodiky VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES VRTÁNÍ.

2. Charakteristika měření

Pro měření opotřebení vrtáku bude použita nástrojová lupa Brinell (obr. 1). Při zkoumání různých procesních kapalin bylo pozorováno opotřebení vrtáků z hlediska:

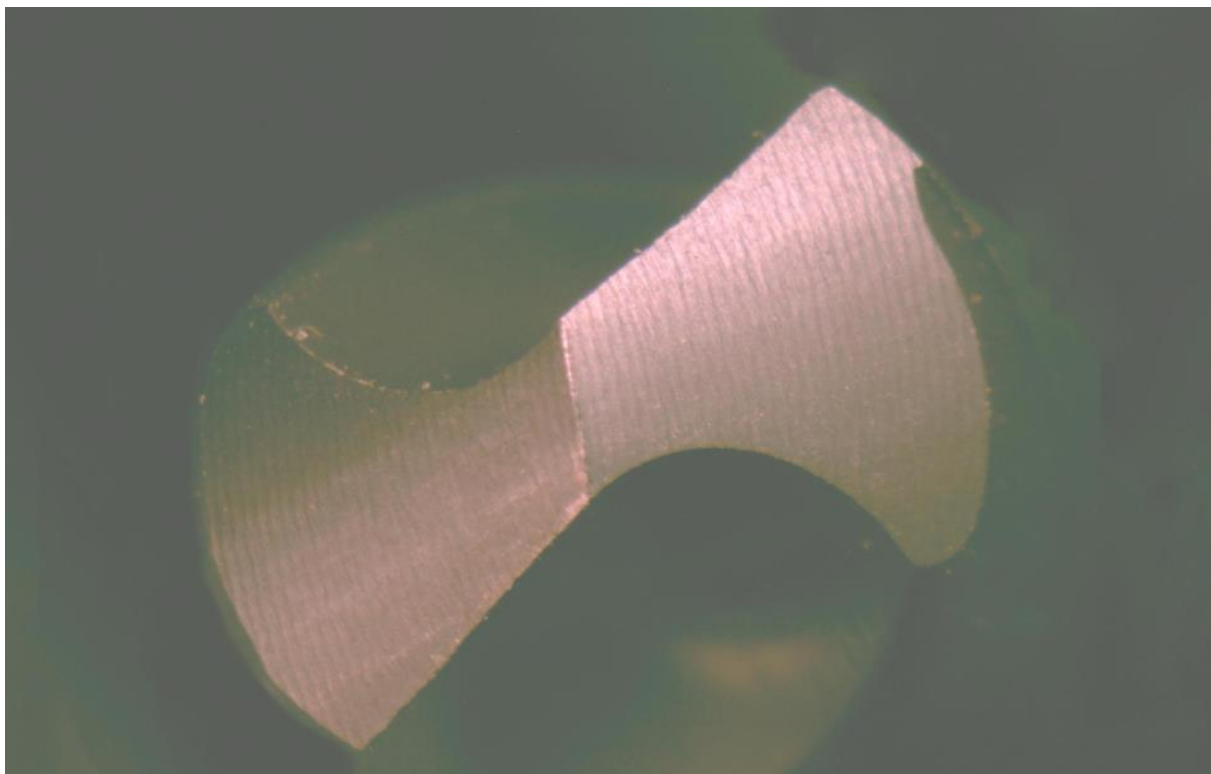
- **opotřebení hlavního ostří vrtáku O_{HO}** , které je zobrazeno na obr. 3, kritériální hodnota O_{HOKr} tohoto druhu opotřebení byla stanovena na 0,3 mm.

Na obr. 2 je zobrazen hlavní ostří nového vrtáku ve stejném pohledu jako vrták opotřeбенý, který je zobrazen na obr. 3.

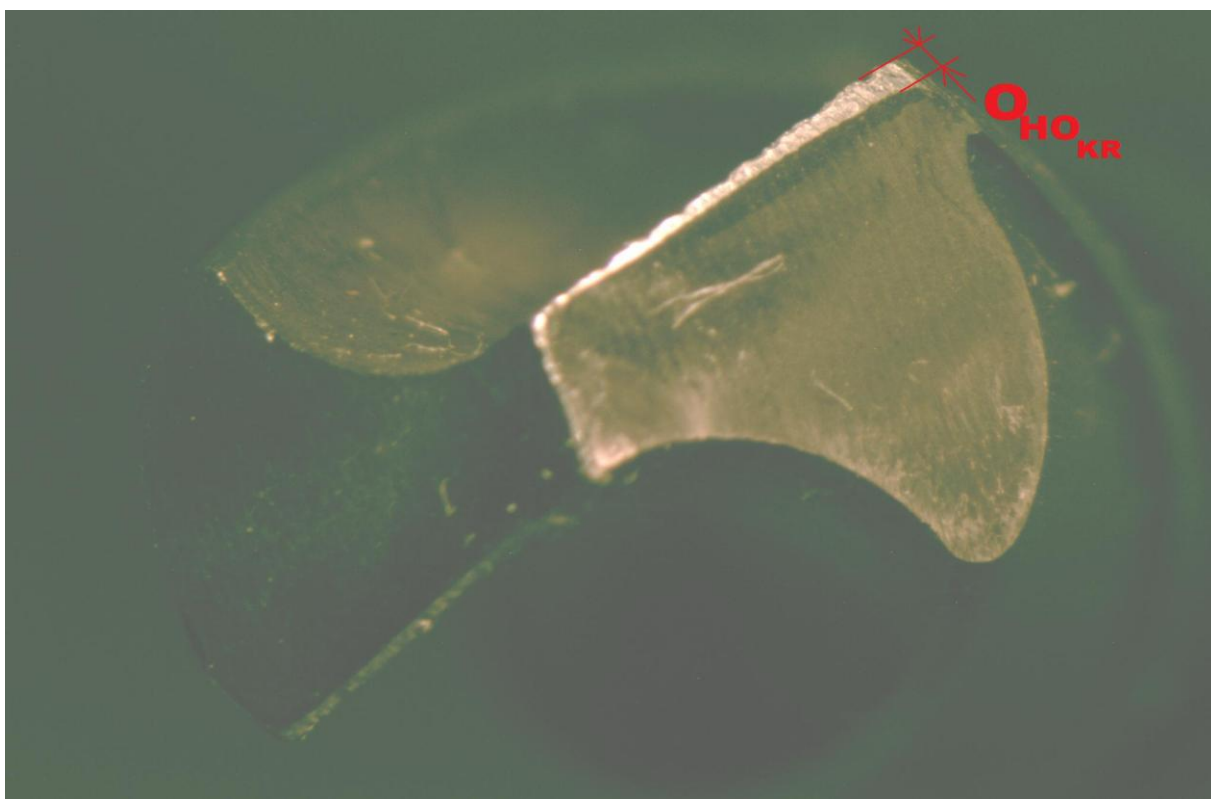
Proces vrtání nerezové oceli vrtákem z rychlořezné oceli se při daných řezných podmínkách vyznačuje zvláštním průběhem. Zvláštnost procesu se projevuje v rychlosti nárůstu opotřebení. V průběhu první fáze procesu vrtání nebylo pozorováno žádné opotřebení nástroje a hluk tření nástroje o materiál obrobku byl v této fázi stabilní. Dobu trvání první fáze nebylo možné odhadnout. Ve druhé fázi procesu vrtání se velmi rychle zvětšovalo opotřebení z prakticky nulové hodnoty až za velikost kritéria opotřebení. Ukazatelem nárůstu opotřebení byla změna hluku tření nástroje o materiál obrobku (změna ze stabilního hluku o středních frekvencích na přerušovaný hlasitý hluk o velmi vysokých frekvencích). V tento okamžik bylo třeba ihned zastavit stroj a zkontrolovat velikost opotřebení. Pokud nebyl stroj včas zastaven, došlo ke zničení nástroje (obr. 4), případně mohlo dojít i k poškození vřetena stroje.



obr. 1 Nástrojová lupa Brinell



obr. 2 Hlavní ostří na novém vrtáku



obr. 3 Opotřebení hlavního ostří vrtáku



obr. 4 Zničený vrták

3. Charakteristika postupu hodnocení

Vrtání nerezové oceli s použitím konkrétní procesní kapaliny/média bude zopakováno 2x, tak jak bylo domluveno se zadavatelem projektu, podle metodiky VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES VRTÁNÍ. Při každém experimentu bude zjišťována trvanlivost nástroje (čas do dosažení kritéria opotřebení). Trvanlivost pro danou kapalinu/médium bude stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny/média budou dále mezi sebou porovnány a procesní kapalina, při které bude dosažena největší průměrná trvanlivost, bude vyhodnocena jako nejlepší.